

GUIA DE CONSULTORES PARA EVALUACION DE TECNOLOGIAS DE PROYECTOS DE ENERGIA LIMPIA Volumen II

Portfolio de Tecnologías Eficientes
MEXICO LOW EMISSIONS DEVELOPMENT PROGRAM (MLED).
CONTRACT: AID-523-C-11-00001

FECHA : 31 de Mayo del 2016

Este informe fue elaborado por Tetra Tech ES Inc. para la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

AVISO LEGAL

Las opiniones expresadas en esta publicación no reflejan necesariamente la opinión de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni la del Gobierno de los Estados Unidos.

www.mledprogram.org

Guía para la elaboración de planes de negocio de proyectos de energía limpia

La presente guía fue elaborada por los ingenieros Javier Ortega Solís y Alejandro Gutiérrez Pérez, con la colaboración de la doctora Manuela Azucena Escobedo Izquierdo y bajo la supervisión de la licenciada Ana Silvia Arrocha Contreras, Dr Daniel Buirra y del ingeniero Mark Oven de Tetra Tech ES, Inc., en el marco del Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED), patrocinado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), bajo el contrato “AID-523-C-11-00001” implementado por Tetra Tech ES Inc.

Para mayor información, por favor contacte a: info@mledprogram.org,
www.mledprogram.org

Guía para la elaboración de planes de negocio de proyectos de energía limpia

Volumen II Contenido

1	Módulo III Metodología para la Evaluación de Medidas de Eficiencia Energética en los Sistemas Eléctricos	8
1.1	Procedimientos Particulares para la Evaluación de Medidas de Eficiencia Energética en los sistemas Eléctricos	8
1.1.1	<i>Iluminación</i>	8
1.1.1.1	Criterios de Rendimiento	9
1.1.1.2	Normatividades de los Sistemas de Iluminación	9
1.1.1.3	Metodología para Calcular el Ahorro de Energía Eléctrica de los Sistemas de Iluminación	11
1.1.1.4	Comparativo de sistemas de iluminación	12
1.1.2	<i>Motor Eléctrico Trifásico</i>	15
1.1.2.1	Eficiencia de un Motor Eléctrico.....	15
1.1.2.2	Normatividad y certificación de Motores Eléctricos Trifásicos.....	17
1.1.2.3	Valores de Eficiencia ponderado para Motores Eléctricos	17
1.1.2.4	Metodología para el Cálculo de Ahorro de Energía en Motores Eléctricos trifásicos	20
1.1.3	<i>Sistemas de Bombeo</i>	21
1.1.3.1	Normatividad para Sistemas de Bombeo	25
1.1.3.2	Metodología para el Cálculo de Ahorro de Energía en Sistema de bombeo	27
1.1.4	<i>Variador de Velocidad</i>	28
1.1.4.1	Metodología para el Cálculo de Ahorro de Energía en Variador de Velocidad ..	29
1.1.5	<i>Sistema de Aire Comprimido</i>	30
1.1.5.1	Normatividad y Certificación de Compresores de Aire	32
1.1.5.2	Diseño de red de aire comprimido y control	32
1.1.5.3	Calculo por disminución de pérdidas en la red Diseño, fugas y control del aire comprimido.....	34
1.1.5.4	Metodología para el Cálculo de Ahorro de Energía en Compresores de Aire Eficientes.....	35
1.1.5.5	Análisis Comparativo de Compresores de Aire	35
1.1.6	<i>Acondicionadores de Aire</i>	37
1.1.6.1	Normatividad y Certificación de Compresores de Aire	37
1.1.6.2	Metodología para Calcular el Ahorro de Energía Eléctrica para Acondicionadores de Aire	43
1.1.7	<i>Aislamiento térmico para Sistemas de Aire Acondicionado</i>	44
1.1.7.1	<i>Normas de Envolventes Térmicos para Edificaciones</i>	45
1.1.7.2	Cálculo de ganancia de calor.....	49

1.1.7.3	Tipos de Materiales de Aslamientos térmico	50
1.1.7.4	Calculo de ahorro de energía del aire acondicionado aplicando envolventes térmicos.....	51
1.1.8	<i>Sistemas de Refrigeración</i>	52
1.1.9	<i>Instalación de Subestación para cambio de tarifa.</i>	54
1.1.9.1	Parámetros Determinantes en la Evaluación y Rentabilidad de un Cambio de Tarifa 2 o 3 a Tarifa OM o HM	55
1.1.9.2	Análisis de Cambio de Tarifa	56
1.1.9.3	Metodología para Calcular el Ahorro Económico por hacer un Cambio de tarifa	57
1.1.10	<i>Instalar banco de capacitores para corregir el factor de potencia.</i>	58
1.1.10.1	Metodología para Calcular bonificación por un FP > 90%	59
2	Módulo IV Metodología para la Evaluación de las Medidas de Energías Renovables, Mediciones y Análisis	62
2.1	Procedimientos Particulares para la Evaluación de Medidas de Eficiencia Renovables.....	62
2.1.1	<i>Sistema Fotovoltaico</i>	62
2.1.1.1	Normatividad y Certificación de Sistemas Fotovoltaicos	63
2.1.1.2	Metodología para Calcular la Generación de Energía Eléctrica fotovoltaica	66
2.1.2	<i>Sistema Energía Térmica</i>	69
2.1.2.1	Normatividad y Certificación del Colector Solar para Calentamiento de Agua .	70
2.1.2.2	Metodología de Calculó Energía Solar Térmica	71
3	Módulo V Metodología para la Evaluación de las Medidas de Eficiencia Energética en los Sistemas Térmicos, Mediciones y Análisis	74
3.1	Sistema de Generación de Vapor	74
3.1.1	<i>Alcances</i>	75
3.1.2	<i>Sustitución de Caldera</i>	75
3.2	Sistemas de Distribución y Retorno de Condensados	80
3.2.1	<i>Instalación de Aislamiento térmico en tuberías de conducción de vapor, fluidos térmicos y retorno de condensados</i>	80
3.2.2	<i>Instalación de un Sistema de Retorno de Condensados</i>	85
3.3	Sistemas de Cogeneración	91
Bibliografía	97	

Listado de abreviaturas

Listado de Abreviaturas

BLFL	Balastro para Lámpara Fluorescente Lineal
CANAME	Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CFM	Metros Cúbicos por Minuto
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
DOF	Diario Oficial de la Federación
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
GEI	Gases de Efecto Invernadero
kWh	Kilo Watts Hora
LFC	Lámpara Fluorescente Compacta
LFL	Lámpara Fluorescente Lineal
LFCA	Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastadas
LI	Lámpara Incandescente
L y F	Ex Luz y Fuerza del centro
NAFIN	Nacional Financiera, S. N. C.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NOM	Norma Oficial Mexicana
REE	Relación de Eficiencia Energética
SIEM	Sistema de Información Empresarial Mexicano
W	Watts

Listado de Tablas

Tabla 1.	Distribución Energía de iluminación por sector	8
Tabla 2.	Valores Eficacia mínimas para incandescente	10
Tabla 3.	Valores Eficacia mínimas para lámparas Fluorescentes Lineales menores a 25 mm	10
Tabla 4.	Flujo luminoso (Lumen) mínimo para sustituir una LI.....	12
Tabla 5.	Comparativo de flujo luminoso de un foco con una LFC.....	12
Tabla 6.	Comparativo de flujo luminoso de T-12 vs T-8 y T-5.....	13
Tabla 7.	Comparativo de flujo luminoso de T-8 vs Leds	14
Tabla 8.	Comparativo de HID vs Fluorescente Lineal y LEDs.	14
Tabla 9.	Ahorro de energía eléctrica Comparativo de HID vs Fluorescente Lineal y vs Leds.	15
Tabla 10.	Resumen de valores de eficiencia promedio ponderado a plena carga para motores verticales y horizontales, en por ciento.	17
Tabla 11.	Perdidas de eficiencia por antigüedad y reembobinado.....	19
Tabla 12.	Valores de Eficiencia Ajustados a las pérdidas por Antigüedad y Reembobinados.	19
Tabla 13:	Características de las tecnologías de bombeo.....	23
Tabla 14:	Valores mínimos de eficiencia para sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.	26
Tabla 15:	Valores mínimos de eficiencia para sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.	26
Tabla 16.	Ahorro consumo por reemplazo de compresores de aire antiguos.....	36
Tabla 17.	Valores de REE de acondicionadores de aire tipo cuarto de NOMs y Sello FIDE. (sin ciclo inverso y con ranuras laterales).....	38
Tabla 18.	Valores de REE de equipos tipo Minisplit y Multisplit de NOMs y Sello FIDE. (sin ciclo inverso y con ranuras laterales).	39
Tabla 19.	Valores de REE de equipos tipo Minisplit. (sin ciclo inverso).....	39
Tabla 20.	Valores de REE acondicionadores de aire tipo central y dividido de NOMs y Sello FIDE.....	40
Tabla 21.	Normas correspondientes para el aislamiento	45
Tabla 22.	“Valor R” por sistema y zona térmica	48
Tabla 23.	Materiales aislante es espesor para cumplir “Valor R” 1.5 °C m ² /W.....	50
Tabla 24.	Impacto de consumo de energía con equipos ineficientes.....	53
Tabla 25.	Impacto de consumo de energía con equipos eficientes.	53
Tabla 26.	Precio medio de la energía eléctrica por tarifa, 2016.	57
Tabla 27.	Tabla Compensación escalamiento K	60
Tabla 28.	Límites de pérdidas por orientación, inclinación y sombreado.....	67
Tabla 29.	Pérdidas Totales por Falta de Aislamiento	81
Tabla 30.	Pérdidas Totales con Aislamiento	83
Tabla 31.	Entalpía de vaporización de las líneas	86
Tabla 32	Carga de Condensados en Líneas de Vapor	87
Tabla 33	Carga de Condensados de Usuarios de Vapor	87

Lista de Figuras

Figura 1.	Conversión de energía eléctrica a mecánica.	16
Figura 2:	Curva operación bomba, y determinación de punto trabajo.....	22
Figura 3:	Proceso de transformación de la energía en sistemas de bombeo	22
Figura 4:	Eficiencia Electromecánica Sistema Bomba - Motor	23
Figura 5:	Modificación de la curva del sistema sobre la carga que trabaja la bomba	25
Figura 6.	Variador de Velocidad.....	28
Figura 7.	Variación de velocidad y de potencia en un sistema de bombeo.	30
Figura 8.	Red de suministro de aire comprimido	33
Figura 9.	Sistema de Control de equipos de aire comprimido.....	33
Figura 10.	Aislamiento térmico para ductos de aire acondicionado	45
Figura 11.	Edificio de Referencia y Edificio Proyectada.	47
Figura 12.	Porciones de envolvente térmico.....	47
Figura 13.	Comparación de facturación de una empresa contratada tarifa 2 vs tarifa OM.	58
Figura 14.	Ejemplo de beneficios por corrección del FP.	61
Figura 12.	Radiación Solar diaria promedio anual México.	63
Figura 13.	Diagrama de Conexión Sistema FV a la Red.....	65
Figura 14.	Diagrama de Conexión para Fuente de Energía Renovable en Mediana Escala hasta 500 KWp..	65
Figura 15.	Perdidas por Angulo de inclinación β y por Angulo azimut α	68
Figura 16.	Perdidas por radiación solar por sombras.....	68

1 Módulo III Metodología para la Evaluación de Medidas de Eficiencia Energética en los Sistemas Electricos

1.1 Procedimientos Particulares para la Evaluación de Medidas de Eficiencia Energetica en los sistemas Eléctricos

1.1.1 Iluminación

La iluminación representa en muchos edificios un porcentaje elevado del consumo eléctrico. Así, el porcentaje de energía eléctrica dedicado a iluminación puede llegar a alcanzar en algunos casos más del 50 %.

Tabla 1. Distribución Energía de iluminación por sector

Sector	% de energía eléctrica dedicada a iluminación
Oficinas	20-50%
Hospitales	20-30 %
Industria	15%
Colegios	25-50 %
Comercios	15-70 %
Hoteles	25-50 %
Residencial	15-35 %

Fuente: Elaboración propia Valores estimados.

La tecnología ha evolucionado de forma importante, transformando los mercados hacia sistemas de iluminación capaces de adaptarse a las exigencias actuales y que, a su vez, son más eficientes energéticamente. Por tanto, existe un gran potencial de ahorro, energético y económico, alcanzable mediante el empleo de equipos eficientes, unido al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del local a iluminar.

Un sistema de iluminación está formado por:

- Fuentes de luz.

Descripción de la Tecnología Eficiente

- Equipos Auxiliares: resultan imprescindibles para conseguir la funcionalidad del sistema, e influyen en gran medida en su calidad, consumo energético, economía y durabilidad.
- Luminarias: cumplen funciones energéticas, mecánicas, térmicas y estéticas, al distribuir espacialmente la luz generada por las fuentes de luz.

1.1.1.1 Criterios de Rendimiento

Los criterios de rendimiento varían según la aplicación. En general, no existe una jerarquía concreta de importancia de estos criterios.

Rendimiento lumínico: la emisión de lúmenes de una lámpara determinará su idoneidad en relación con la escala de la instalación y la cantidad de iluminación necesaria.

Índice de reproducción del color: se aplican escalas y valores numéricos independientes a la reproducción del color. Es importante recordar que las cifras sólo son orientativas y que algunas sólo son aproximaciones. Siempre que sea posible, deberán realizarse valoraciones de idoneidad con lámparas reales y con los colores o materiales aplicables a la situación.

Eficacia: la eficacia de un tipo de lámpara se da cuando logra mejorar la relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente y la potencia total consumida, expresada en lumen por watt (lm/W),

Eficiencia energética: Existen diferentes tipos de lámparas con marcadas variaciones de eficacia. Es conveniente utilizar las lámparas de mejor rendimiento, siempre que cumplan los criterios de rendimiento lumínico, color y vida útil. No debe ahorrarse energía a expensas del confort visual o del rendimiento de los ocupantes.

Vida útil de la lámpara: hoy en día las nuevas tecnologías de iluminación permite tener una mayor durabilidad de vida, lo que genera un beneficio al reducir el gasto de por recambio de lámpara o balastro, permitiendo aumentar la rentabilidad de los proyectos.

1.1.1.2 Normatividades de los Sistemas de Iluminación

El pasado 6 de Diciembre del 2010 se publicó en el DOF, la Norma Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010 Eficiencia energética de Lámparas para uso general. Límites y Métodos de prueba. En la que establece la salida parcial de las lámparas incandescentes del mercado Mexicano y se establece el aumento de la eficacia de las lámparas fluorescentes lineales, prácticamente eliminando las T-12.

Tabla 2. Valores Eficacia mínimas para incandescente

Intervalo de flujo luminoso (lm)	Potencia máxima permitida (W)	Eficacia mínima (lm/W)	Entrada en vigor
1,490 - 2,600	72	20.69	Diciembre 2011
1,050 - 1,489	53	19.81	Diciembre 2012
750 - 1,049	43	17.44	Diciembre 2014
406 - 749	29	14	Diciembre 2014

Fuente: Elaboración con datos de NOM-028-ENER-2010.

Tabla 3. Valores Eficacia mínimas para lámparas Fluorescentes Lineales menores a 25 mm

Longitud Nominal (cm)	Temperatura de Color (K)	Eficacia mínima (lm/W)	Entrada en vigor
61 U	menor o igual a 4,500	86	"Diciembre 2012"
	mayor a 4500	83	
61	menor o igual a 4,500	79	
	mayor a 4500	73	
91	menor o igual a 4,500	85	
	mayor a 4500	83	
122	menor o igual a 4,500	88	
	mayor a 4500	85	
152	menor o igual a 4,500	86	
	mayor a 4500	85	
183	menor o igual a 4,500	85	
	mayor a 4500	83	
244	menor o igual a 4,500	97	
	mayor a 4500	93	
244 HO	menor o igual a 4,500	92	
	mayor a 4500	88	

Fuente: Elaboración con datos de NOM-028-ENER-2010.

Descripción de la Tecnología Eficiente

1.1.1.3 Metodología para Calcular el Ahorro de Energía Eléctrica de los Sistemas de Iluminación

De acuerdo a la metodología aprobada por la junta ejecutiva del MDL, AMS II J ***Demand-side activities for efficient lighting technologies ver 3***, se presenta la siguiente fórmula que permite calcular el ahorro de energía eléctrica, para sistemas de iluminación ineficientes por alta eficiencia que se haya definido.

$$AE_i = n * (P_{i, BL} - P_{i, PJ}) * O_i * 365 / 1000$$

Fuente: POA design document; CFL lighting scheme – “Bachat Lamp Yojana”

Donde:

i = Contador para el tipo de dispositivo de iluminación por ejemplo, 40 W de lámpara incandescente, LFC de 14 W. o Contador para el tipo de dispositivo de iluminación por ejemplo, 39 W de lámpara Fluorescente lineal (LFL) T-12, LFL T-8 de 32 W o T-5 de 28 W

n = Numero de tipos de dispositivos de alumbrado

AE_i = Estimación de ahorro anual de electricidad para los equipos del tipo i , de acuerdo a la tecnológico de referencia. (kWh)

$P_{i, BL}$ = Potencia nominal de los dispositivos de iluminación de referencia del grupo del tipo i los dispositivos de alumbrado (Watts)

$P_{i, PJ}$ = Potencia nominal de los dispositivos de proyecto de iluminación, del grupo de "los dispositivos de alumbrado i " (Watts)

O_i = El promedio de horas diarias de funcionamiento de los dispositivos de iluminación (LI), reemplazados por el grupo de "los dispositivos de alumbrado i ", utilizando 11¹ horas por cada período de 24 horas.

Asimismo establece que el flujo luminoso total de las LFC debe ser igual o superior a la emitida por la Lámpara Incandescente (LI) a ser sustituido, los valores mínimos de flujo luminoso aceptados se especifican en el cuadro siguiente.

¹ Horas de operación para el sector industrial y comercial.

Tabla 4. Flujo luminoso (Lumen) mínimo para sustituir una LI

Tecnología base Lámpara Incandescente (Watt)	Salida Mínima de Luz (Lumen)
25	230
40	415
50	570
60	715
75	940
90	1,227
100	1,350
150	2,180
200	3,090

Fuente: UNFCCC/CCNUCC; AMS II.J. *Demand-side activities for efficient lighting technologies ver 3; Mayo 2009.*

1.1.1.4 Comparativo de sistemas de iluminación

a) Lámparas Fluorescentes Compactas LFC

A manera de ejemplo, la luz que emite una lámpara ahorradora es igual o superior conforme su equivalencia con un foco convencional, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5. Comparativo de flujo luminoso de un foco con una LFC

Foco	60 Watts	75 Watts	100 Watts
Flujo Luminoso	820	1.070	1.560
Lámpara	15 Watts	20 Watts	23 Watts
Flujo Luminoso	800	1,170	1,550

Fuente: FIDE.

b) Lámparas Fluorescentes Lineales

La disminución en demanda que se obtiene por el uso de lámparas fluorescentes de tecnología T-8 o T-5, en lugar de las tradicionales de tecnología T12, se debe principalmente a la menor potencia de las mismas, sin que esto implique una menor intensidad luminosa. Además, como resultado del uso de balastos electrónicos con circuitos integrados de encendido instantáneo, se registra el fenómeno positivo de que la potencia del arreglo es menor o igual que la de sus partes por separado, e inclusive se logra una mayor intensidad luminosa en algunas de las lámparas T-8 o T-5.

A continuación presentamos el comparativo del flujo luminoso que nos proporcionan las lámparas fluorescentes lineales T-12 y con las T-8 y T-5, en donde podemos observar que podemos sustituir la T-12 por cualquier T-8 o T-5, ya que estas nos permite proporcionar un flujo luminoso equivalente o superior a la T-12. Ver tabla.

Tabla 6. Comparativo de flujo luminoso de T-12 vs T-8 y T-5.

Lámpara Fluorescente Lineal (Watt)	Salida de Luz (Lumen)	Lámpara Fluorescente Lineal (Watt)	Salida de Luz (Lumen)	Lámpara Fluorescente Lineal (Watt)	Salida de Luz (Lumen)
T – 12 1/		T – 8		T – 5	
21	990	17	1,350	14	1,150
39	2,500	32	3,000	28	2,900
75	3,950	59	5,428	54	4,450

Fuente: Elaboración propia con valores de Sello Fide y catalogo fabricantes, 2016

1/ Lámpara Fluorescente Lineal tipo Luz de día (Catálogos fabricantes)

2/ Valores de sello FIDE y catálogos fabricantes sep 2010.

Para el caso de querer cambiar lámparas fluorescentes por Luminarias Led, se debe sustituir la luminaria completa, para que en el conjunto Luminaria y lámpara led proporción el luxes necesarios del área a iluminar y dar cumplimiento a la NOM-025-STPS-2008 Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

Tabla 7. Comparativo de flujo luminoso de T-8 vs Leds

Sistema Fluorescente Tipo U /Balastro Electrónico	Salida de Luz	Sistema Lineal	Salida de Luz	Sistema Lineal	Salida de Luz
Sistema F Tipo U - T-8		Sistema Leds		Ahorro Sistema	
(Watt)	(Lumen)	(Watts)	(Lumen)	Watts	%
(2x32)	6000	(3x9)	2,700	30.6	48%
(1x32)	3,000	(1x18)	1,800	10.8	17%

Fuente: catalogo fabricantes

c) Lámparas Aditivos Metálicos

Para los sistemas HID de Vapor de Aditivos Metálicos existentes de 400 W, se puede realizar el cambio por un luminario nuevo de 4x54W diseñado para bodegas y plantas industriales para suspender, protección IP67, con lámparas europeas bulbo T5, IRC de 82 y 6500K de encendido rápido y balastro electrónico de arranque rápido programado, logrando así reducir la carga del sistema de iluminación.

Tabla 8. Comparativo de HID vs Fluorescente Lineal y LEDs.

Lámpara Aditivos Metálicos			Arreglos de Lámparas Fluorescentes Lineales			LEDs		
Potencia Lámpara [W]	Flujo Luminoso [lm]	Potencia Sistema [W]	Potencia [W]	Flujo Luminoso [lm]	Potencia Sistema [W]	Potencia [W]	Flujo Luminoso [lm]	Potencia Sistema [W]
250	13,500	300	4 X 32 T-8	12,800	144	120	12,000	120
400	22,300	480	4 X 54 T-5	20,000	240	200	20,000	200

Fuente: Elaboración propia, datos de fabricantes

Tabla 9. Ahorro de energía eléctrica Comparativo de HID vs Fluorescente Lineal y vs Leds.

Ahorro HID vs LFC		Ahorro HID vs LED´s		Porcentajes de Ahorro HID vs LED	
Potencia Sistema [W]	Consumo Sistema [KW/año]	Potencia Sistema [W]	Consumo Sistema [KW/año]	HID vs LFL %	HID vs LED´s %
156	639	180	737	52%	60%
240	983	280	1,147	50%	58%

Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Motor Eléctrico Trifásico

Es una máquina rotatoria para convertir energía eléctrica en mecánica y utiliza para su operación energía eléctrica de corriente alterna trifásica.

Los motores eléctricos son los de mayor consumo de energía eléctrica, alrededor de 46% del consumo de la energía eléctrica en la industria, comercios, servicios, municipios y hogares corresponde a la utilización de los motores eléctricos. En la mayoría de las plantas industriales, aproximadamente entre el 60 y 70% del consumo de energía eléctrica a por medio de equipos electromotrices tales como ventiladores, bombas compresores, bandas transportadoras, etc. y estos a su vez están acoplados a motores eléctricos.

1.1.2.1 Eficiencia de un Motor Eléctrico

Una característica fundamental de todo equipo eléctrico es su eficiencia, es decir, su capacidad para convertir en trabajo la energía que reciben. Básicamente un motor es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, por lo tanto, es de suma importancia que la energía que recibe de la alimentación, se convierta en trabajo y se transmita en su totalidad a través del movimiento de la flecha del motor.

Sabemos que lo anterior es imposible, ya que durante la operación de cualquier equipo eléctrico, se produce pérdidas de energía por diferentes conceptos.

Para el caso de los motores eléctricos, en la actualidad se están fabricando motores denominados de alta eficiencia (Eficiencia Premium), con lo cual, los motores utilizados normalmente en las industrias se les llama motores de baja eficiencia (estándar), debido a que fueron fabricados con bajos porcentajes de eficiencia ya que tienen más de 8 años antigüedad.

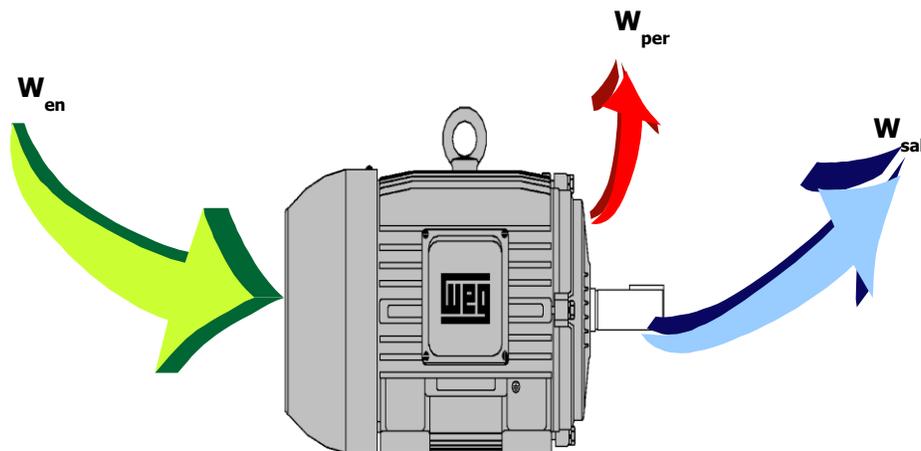
Los motores de alta eficiencia, tienen un menor consumo de energía, para transmitir la misma potencia en su flecha que un motor de eficiencia estándar. Para poder hablar de alta eficiencia o eficiencia estándar. Es necesario que definamos lo que es eficiencia y que es lo que provoca que esta disminuya o se incremente.

La eficiencia de un motor se define como:

$$\eta = \frac{\text{Potencias de salida (Mecánica)}}{\text{Potencia de entrada (Eléctrica)}} \times 100$$

La potencia entregada en la flecha por un motor nunca podrá ser igual a la potencia recibida en la alimentación esto se debe a que durante el proceso de conversión se producen pérdidas de energía, ver figura 1.

Figura 1. Conversión de energía eléctrica a mecánica.



Fuente: WEG; Oportunidad de ahorro de energía a través de motores de alta eficiencia

W_{en} = Energía de entrada en forma eléctrica

W_{sal} = Energía de salida en forma mecánica

W_{per} = Energía perdida durante el proceso en forma de calor

Descripción de la Tecnología Eficiente

1.1.2.2 Normatividad y certificación de Motores Eléctricos Trifásicos

La “Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2010 Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jala de ardilla en potencia nominal de 0.746 a 373 kW”, entró en vigor el 19 de octubre de 2010, en donde los valores de eficiencia ya son iguales a los NEMA Premium.

Esta norma tiene su origen con carácter de voluntaria en 1985. En 1994 fue establecida como norma obligatoria bajo el nombre NOM-074-SCFI-1994, asimismo se actualizó la norma en 1997 y 2003, dejando vigente la actual NOM-016-ENER-2010.

El Sello FIDE, cuenta con la especificación No. ESP4401 para Motores Eléctricos Trifásicos y actualizó sus valores de eficiencia en 2012, igualando los valores especificados por la Asociación Nacional de Manufacturas Eléctricas de los Estados Unidos (NEMA por sus siglas en inglés), en su tabla en la tabla 12-12 de “NEMA Standards Publication MG1-2003”.

1.1.2.3 Valores de Eficiencia ponderado para Motores Eléctricos

De acuerdo a la Normas Oficiales Publicadas en los diferentes años, se pueden obtener los valores ponderados de eficiencia de los motores eléctricos trifásicos y que van de acuerdo a los polos de fabricación, como se muestra en la tabla siguiente los valores de eficiencia establecidos de acuerdo al año de vigencia de las normas de motores trifásicos.

Tabla 10. Resumen de valores de eficiencia promedio ponderado a plena carga para motores verticales y horizontales, en por ciento.

Potencia	Potencia	Valores de Eficiencia Promedio Ponderado 1/			
Nominal, kW	Nominal Cp	NOM-074-SCFI-1994 Estándar Valores Mínimos	NOM-016-ENER-1997 Estándar	NOM-016-ENER-2002	NOM-016-ENER-2010
0,746	1.0	71.2	75.2	81.1	83.8
1,119	1,5	75.6	79.4	83.8	86.1
1,492	2.0	77.6	81.0	84.2	86.5
2,238	3.0	78.2	81.3	87.1	89.0
3,730	5.0	81.1	83.5	87.5	89.3
5,595	7,5	82.9	85.8	89.3	91.2
7,460	10	83.5	86.1	89.5	91.4
11,19	15	83.6	87.0	90.8	92.1

14,92	20	84.6	87.3	90.8	92.5
18,65	25	86.3	88.8	92.1	93.2
22,38	30	87.4	89.5	92.1	93.2
29,84	40	87.5	89.8	92.8	93.8
37,30	50	88.7	90.4	92.9	94.2
44,76	60	89.3	91.2	93.5	94.7
55,95	75	89.4	91.2	93.9	95.0
74,60	100	89.9	91.9	94.3	95.1
93,25	125	90.1	92.1	94.5	95.3
111,9	150	90.6	92.1	94.9	95.7
149,2	200	91.4	92.7	95.0	96.0
186,5	250	-	-	95.1	96.1
223,8	300	-	-	95.4	96.1
261,1	350	-	-	95.4	96.1
298,4	400	-	-	95.4	96.1
335,7	450	-	-	95.4	96.1
373	500			95.4	96.1

Fuente: Elaboración Propia con datos de NOM's

Perdida de Eficiencia.-Ante la opción de reemplazar los motores estándar en operación por unidades nuevas de alta eficiencia, se debe considerar que, en general, las unidades se mantienen operando durante más de 20 años². Al tener una vida tan larga, se ha observado que presentan varios rebobinados, lo que disminuye su eficiencia, ya que los elementos internos del motor se deterioran y se incrementan las pérdidas por corrientes parásitas.

- Se pierde 1.5 punto porcentuales por cada rebobinado del motor eléctrico en operación.
- Por antigüedad también se pierde 1.5 puntos porcentuales.

Por lo anterior y para realizar los cálculos de ahorro de energía, se debe considerar los puntos porcentuales por rebobinado y antigüedad a los valores de eficiencia de cada normatividad vigentes en su respectivo año.

² Referencias: 1/ El Promedio Ponderado tiene una participación del 75% para motores de 4 polos y un 25% para los restantes
- "Rebobinado de Motores en México", realizado por el FIDE con apoyo de la USAID/México.
- Informe de WORLDMETAL, S.A. y de Procobre, enero de 1995.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Tabla 11. Pérdidas de eficiencia por antigüedad y reembobinado.

Normatividades	No. Reembobinados	Pérdidas por Reembobinado	Pérdidas por Antigüedad	Total
NOM-074-SCFI-1994 Estándar	2	1.5	1.5	4.5
NOM-016-ENER-1997 Estándar	2	1.5	1.5	4.5
NOM-016-ENER-2003	1	1.5	1.5	3.0

Fuente; Elaboración propia con datos (PA Consulting, 2004)

Por lo tanto, aplicando este criterio los valores de eficiencia se ajustan quedando de la siguiente forma:

Tabla 12. Valores de Eficiencia Ajustados a las pérdidas por Antigüedad y Reembobinados.

Potencia Nominal, kW	Potencia Nominal Cp	Valores de Eficiencia Ajustada Promedio Ponderado			
		NOM-074-SCFI-1994 Estándar	NOM-016-ENER-1997 Estándar	NOM-016-ENER-2002 Alta Eficiencia	NOM 016 ENER-2010/Sello FIDE 2012
0,746	1	66.7	70.7	78.1	83.0
1,119	1.5	71.1	74.9	80.8	85.3
1,492	2	73.1	76.5	81.2	85.6
2,238	3	73.7	76.8	84.1	88.1
3,730	5	76.6	79.0	84.5	88.4
5,595	7.5	78.4	81.3	86.3	90.4
7,460	10	79.0	81.6	86.5	90.4
11,19	15	79.1	82.5	87.8	91.1
14,92	20	80.1	82.8	87.8	91.6
18,65	25	81.8	84.3	89.1	92.3
22,38	30	82.9	85.0	89.1	92.3
29,84	40	83.0	85.3	89.8	92.9
37,30	50	84.2	85.9	89.9	93.3
44,76	60	84.8	86.7	90.5	93.8
55,95	75	84.9	86.7	90.9	94.1
74,60	100	85.4	87.4	91.3	94.2
93,25	125	85.6	87.6	91.5	94.4
111,9	150	86.1	87.6	91.9	94.7

149,2	200	86.9	88.2	92.0	95.1
-------	-----	------	------	------	------

Fuente: Elaboración Propia

Con estos valores de eficiencia, ya es factible poder aplicar el procedimiento metodológico para hacer los cálculos energéticos, como se señala en el inciso siguiente.

1.1.2.4 Metodología para el Cálculo de Ahorro de Energía en Motores Eléctricos trifásicos

Para calcular la potencia ahorrada, se debe aplicar la siguiente:

Cálculo de la eficiencia que trabaja el motor eléctrico

- Determine la potencia estándar que demanda el motor en base a las mediciones.
- Calcule el factor de carga con la que trabaja el motor.
- Determine la eficiencia ajustada del motor a la carga base.
- Calcule el porcentaje de la variación de voltaje.
- Calcule el porcentaje del desbalance de voltaje.
- Estime la eficiencia ajustada tomando en consideración los ajustes por diferencia o variación del voltaje, por desbalanceo de voltaje y por el rebobinado que haya sufrido el motor.

$$AE = \sum_i \left[n_i \cdot o_i \cdot 0.746 \cdot FC \cdot h_{pi} \cdot \left(\frac{100}{\eta_{hi}} - \frac{100}{\eta_i} \right) \right]$$

Fuente: Elaboración con datos de CONUEE; Motores Eléctricos y FIDE- Procobre; Ventajas y Recomendaciones en el Uso de Motores Eléctricos Sello FIDE, 2007.

Donde:

- AE = Ahorro de Energía kWh
- i* = corresponden a diferentes valores de potencia de entrada nominal de los motores
- n_i* = Número de motores reemplazados
- o_i* = Horas de operación promedio al año
- FC = Factor de Carga
- h_{pi}* = Potencia del motor reemplazado
- η_{hi}* = Eficiencia del motor de alta eficiencia a instalar %
- η_i* = Eficiencia del motor ineficiente %

1.1.3 Sistemas de Bombeo

Una bomba es una máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión, transferida al agua. Un sistema de bombeo está compuesto por: bomba, motor, tubería y accesorio.

Existe una gran variedad de bombas y se clasifican, de acuerdo con su principio de operación, en dos grandes rubros: las bombas dinámicas (centrifugas, axiales y tipos intermedios) y las bombas de desplazamiento positivo (reciprocantes y rotatorias). Las bombas dinámicas se utilizan para mover flujos grandes a baja carga, mientras que las bombas de desplazamiento positivo cuando se mueven pequeños gastos de agua a alta presión. De igual manera se tienen bombas que se utilizan para gastos intermedios como son las de pozo profundo.

Por otro lado, y dependiendo de cual sea la fuente de agua de donde se extraerá el líquido, las bombas se pueden clasificar en sumergibles, flotantes o superficiales. Una bomba sumergible es aquella que está construida especialmente para trabajar acoplada directamente a un motor eléctrico sumergible en agua. Las bombas flotantes se instalan sobre la superficie del agua.

Un ejemplo es la bomba vertical tipo turbina con motor externo. Su diseño específico es de una bomba centrífuga que opera con el eje de rotación vertical y parcialmente sumergida en el fluido que maneja. Su mayor aplicación es la extracción de agua de pozos profundos.

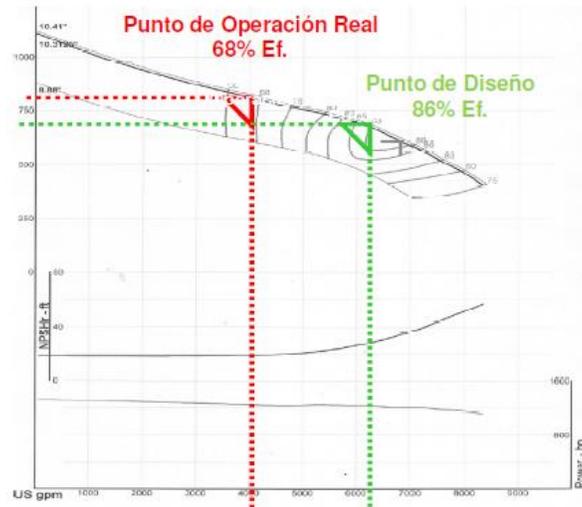
Es importante señalar que la carga del sistema está determinada por una altura estática, definida por la diferencia de niveles a salvar y otra de índole dinámica que es debida a las pérdidas de carga en las conducciones,

El contenido de energía mecánica que requiere para mover el agua desde el nivel dinámico hasta el punto final. La carga de velocidad (h_v) es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento. Es expresada por: $h_v = V^2/2g * f L/D$.

Donde:

- h_v: Carga de velocidad, en m;
- v: Velocidad del agua dentro de la tubería, en m/s;
- g: Aceleración de la gravedad (g= 9.80665 m/s², a nivel del mar).
- L: Longitud tubería
- D: diámetro interno de la tubería
- F: Coeficiente fricción de la tubería

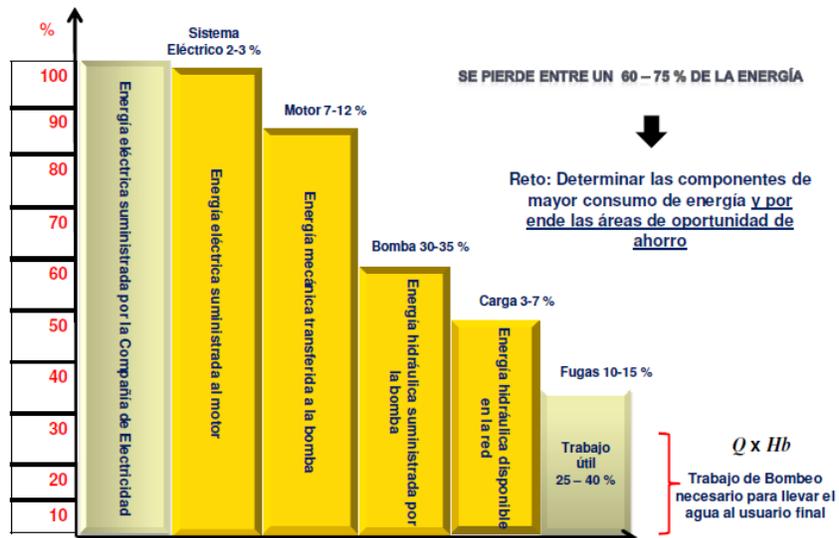
Figura 2: Curva operación bomba, y determinación de punto trabajo



Fuente: GIZ; Modulo II Taller Eficiencia Energética Hidráulica Integral en Sistemas de Agua y Saneamiento

Es importante señalar que los sistemas de bombeo, en su proceso de transformación de energía, llegan a perder hasta 75% de la misma.

Figura 3: Proceso de transformación de la energía en sistemas de bombeo

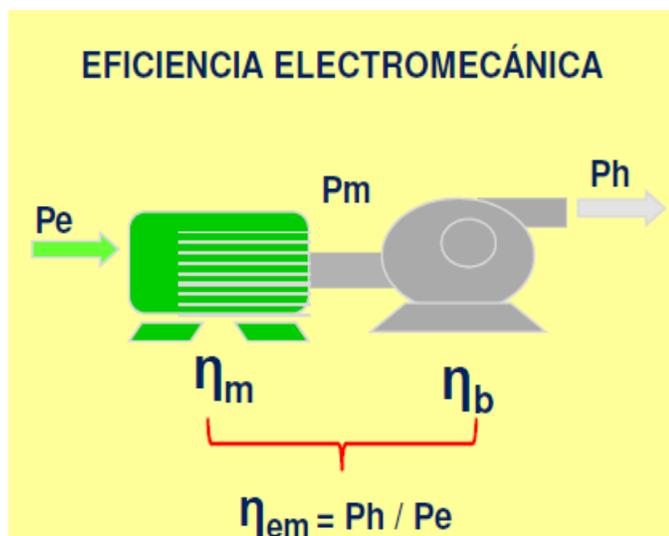


Fuente: GIZ; Modulo I Taller Eficiencia Energética Hidráulica Integral en Sistemas de Agua y Saneamiento

Descripción de la Tecnología Eficiente

Para la selección adecuada de una bomba, se tiene que establecer su operación de acuerdo al punto de carga-gasto (curva de fabricante). Asimismo, la selección adecuada de manera eficiente debe calcularse para tener una eficiencia electromecánica, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4: Eficiencia Electromecánica Sistema Bomba - Motor



Fuente: GIZ; Modulo I Taller Eficiencia Energética Hidráulica Integral en Sistemas de Agua y Saneamiento

El conocimiento de las características de los diferentes tipos de bombas es fundamental al momento de elegir la que mejor que se adapta a una necesidad específica. Es por esta razón que también es importante conocer las ventajas y desventajas entre cada una de las tecnologías:

Tabla 13: Características de las tecnologías de bombeo

Tecnología	Carga hidráulica (m)	Volumen diario de agua (m ³)	Ventajas	Desventajas
Centrífugas de superficie (Dinámicas)	0 - 8	15 - 400	<ul style="list-style-type: none"> • Comúnmente disponibles • Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena • De fácil operación y mantenimiento • Manejan flujos altos • Manejan cargas dinámicas altas, pero no mayores de 8 metros 	<ul style="list-style-type: none"> • Sufren desgaste acelerado en instalaciones con fuentes corrosivas • Pueden dañarse por congelamiento en climas fríos

Centrífugas sumergibles (Dinámicas)	10 - 200	7 - 400	<ul style="list-style-type: none"> • Comúnmente disponibles • Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena • Pueden utilizar el agua como lubricante • Manejan flujos altos • Operan a cargas dinámicas grandes • Tienen un diseño modular 	<ul style="list-style-type: none"> • Deben extraerse para darles mantenimiento • Sufren desgaste acelerado en instalaciones con fuentes corrosivas
Diafragma (Desplazamiento positivo)	20 - 40	0 - 5	<ul style="list-style-type: none"> • Operan a cargas menores de 40 m • Son muy económicas 	<ul style="list-style-type: none"> • No toleran arenas o sedimentos • No trabajan a cargas dinámicas profundas • Bajos flujos
Pistón (Desplazamiento positivo)	50 - 200	0 - 40	<ul style="list-style-type: none"> • Soportan cargas dinámicas muy grandes • La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere remplazo regular de sellos del pistón • No toleran arenas o sedimentos • La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro • Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos • No dan grandes flujos

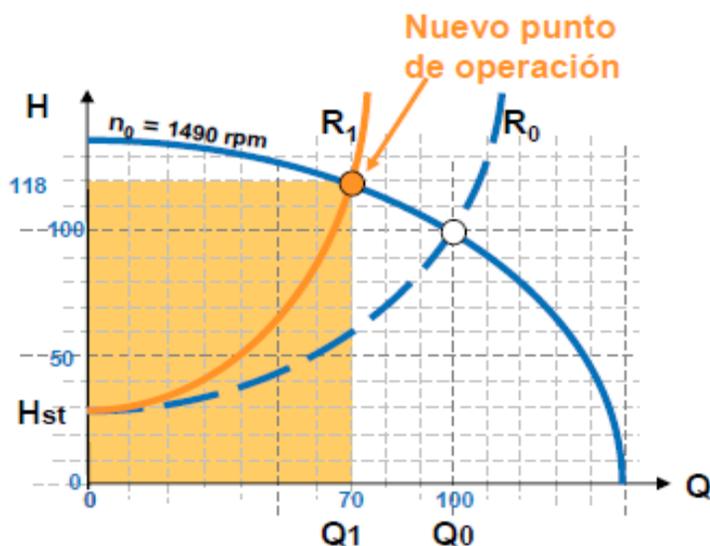
Fuente: SAGARPA, FIRCO, BANCO MUNDIAL, GEF: Tecnología fotovoltaica aplicada al bombeo de agua

Recomendaciones generales para su operación óptima:

- El sistema debe trabajar en condiciones normales de operación de carga y gasto
- Recuerde que en algunas instalaciones no se necesita mantener el flujo constante, y es suficiente que la bomba trabaje cada vez que el nivel de agua baje de cierto nivel, hasta que alcance el nivel óptimo
- Cuando se tenga un flujo variable, también se recomienda instalar un variador de velocidad que permita regular el flujo, variando la velocidad del motor
- Seleccionar adecuadamente el tipo de bomba de acuerdo al tipo de fluido que se maneja
- El costo de una bomba más costosa puede amortizarse con los ahorros obtenidos por disminuir el mantenimiento
- Seleccione un motor de alta eficiencia para disminuir el consumo de energía eléctrica
- No se recomienda el uso de un sistema de control de fluido con estrangulamiento, ya que, como se muestra en la figura siguiente, se incrementa el consumo de energía

Descripción de la Tecnología Eficiente

Figura 5: Modificación de la curva del sistema sobre la carga que trabaja la bomba

Control de Q → Estrangulamiento


Fuente: Presentación CFE: Foro de ahorro de energía

1.1.3.1 Normatividad para Sistemas de Bombeo

La “Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015 Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba, para potencia nominal de 5.6 KW a 261 kW” (7.5 a 350 HP), entró en vigor el 21 de Mayo de 2015.

Cualquier sistema de bombeo para pozo profundo que utilice la energía eléctrica para su operación debe cumplir con los valores mínimos de eficiencia establecidos. Las acciones de mejora se debe tomar en cuenta el conjunto motor eléctrico, la bomba y la estructura del pozo profundo.

Tabla 14: Valores mínimos de eficiencia para sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.

Intervalo de Potencias		Eficiencia electromecánica (conjunto motor bomba) (%)		
		NOM 006 ENER 1995 / 2015		SELLO FIDE 2012
kW	Hp	Bomba con motor	Bomba con motor	Bomba con motor
		sumergible	externo	
5,6 - 14,9	7,5 - 20	35	52	57
15,7 - 37,3	21 - 50	47	56	61
38,0 - 93,3	51 - 125	57	60	65
94,0 - 261	126 - 350	59	64	

Fuente: Conuue, NOM 006 ENER 2015 y Especificación Sello FIDE, 2012

Para determinar la eficiencia antigua del sistema de bombeo Bomba-motor, para poder hacer los cálculos energéticos, se toma como referencia la eficiencia de la Bomba motor de la NOM 016 ENER 1995/2015 y se ajusta la eficiencia del motor de acuerdo al año de su fabricación, quedando la eficiencia Bomba –Motor como sigue:

Tabla 15: Valores mínimos de eficiencia para sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.

Potencia Hp	Eficiencia Bomba con motor pre 1997	Eficiencia Bomba con motor 1997-2001	Eficiencia Bomba con motor 2002-2009 NOM 006 ENER 2015	Eficiencia Bomba con motor Sello FIDE 2012
7.5	47	49	52	57
10	47	49	52	57
15	47	50	53	57
20	48	50	53	58
25	52	53	56	61
30	52	54	56	61
40	52	54	57	61
50	53	54	57	62
60	56	57	60	65
75	56	57	60	65
100	56	58	60	65
125	57	58	60	65
150	60	61	64	65
200	61	62	64	65

Fuente: Elaboración propia con datos de NOM 006 ENER 2015 y Especificación Sello FIDE, 2012

Descripción de la Tecnología Eficiente

1.1.3.2 Metodología para el Cálculo de Ahorro de Energía en Sistema de bombeo

El mejoramiento energético de un sistema bombeo se orienta a la reducción de pérdidas y consecuentemente un disminución en la demanda eléctrica dada por la siguiente expresión:

$$Potencia flecha (kW) = \frac{Q \text{ Gasto} \left(\frac{l}{s}\right) \times Hb \text{ carga}(Kga) \times p \left(\frac{kg}{m^3}\right) \times g \left(\frac{m}{s^2}\right)}{\mu \times 1000 \text{ W/Kw}}$$

Donde.

Q = Gasto de agua

Hb = Altura Total del Sistema de Bombeo

μ = Eficiencia electromecánica

p = Densidad de flujo

g= Aceleración gravedad

Para calcular la potencia ahorrada, se debe aplicar la siguiente:

- Determine la potencia estándar que demanda el sistema de bombeo en base a las mediciones.
- Calcule el factor de carga con la que trabaja el sistema de bombeo.
- Determine la eficiencia ajustada del motor a la carga base.

$$AE = \left(i \times ni \times oi \times 0.746 \left[\frac{kW}{hp} \right] \times hpi \times FC \right) \left(\frac{(100)}{\eta hpi_{actual}} - \frac{(100)}{\eta_{nueva}} \right) \circ$$

Calculo de ahorro, cuando se tenga instalado un sistema de control de flujo, como un variador de velocidad, que permita variar la carga del fluido.

$$AE = \left(i \times ni \times oi \times 0.746 \left[\frac{kW}{hp} \right] \right) \left(\frac{(FcActual)(HP_{Actual})}{\eta_{actual}} - \frac{(FcNuevo)(HP_{nueva \text{ o } ajustada})}{\eta_{nueva}} \right)$$

Fuente: Elaboración con datos de CONUEE; sistemas de bombeo FIDE-.

Donde PA es la reducción de la potencia:

AE = Ahorro de Energía kWh

i = corresponden a diferentes valores de potencia de entrada nominal de los motores

ni = Número de motores remplazados

oi = Horas de operación promedio al año

FC = Factor de Carga

hpi = Potencia del sistema de bomba actual o nueva o ajustada

η_{hi} = Eficiencia del sistema de bomba de alta eficiencia a instalar %

η_i = Eficiencia del sistema de bomba ineficiente %

1.1.4 Variador de Velocidad

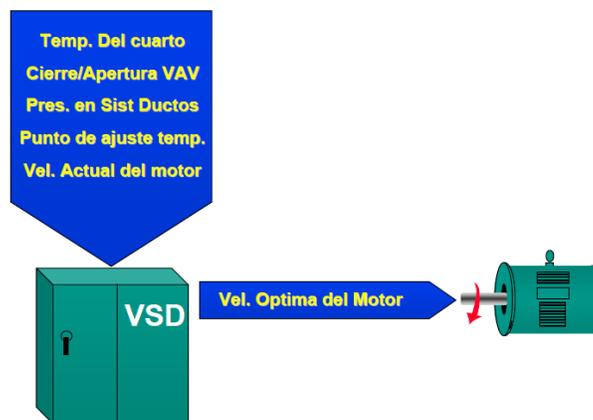
Un controlador de velocidad es la mejor manera de acoplar un sistema motriz a las condiciones variables de los procesos involucrados.

Los sistemas de velocidad variables se pueden aplicar en aquellos sistemas en donde se requiere regular el flujo a diferentes cargas.

El variador de frecuencia (VDF) es un control para el motor de inducción tipo jaula de ardilla. Es el único control que suministra la potencia, permite la variación de velocidad en el motor sin ningún accesorio extra entre el motor y la carga, y además es una excelente protección al mismo, por lo que ha llegado a ser uno de los controles más usados en los últimos años.

De acuerdo a diversos estudios, se ha comprobado que es factible ahorrar energía eléctrica instalando variadores de velocidad en manejadoras de aire, permitiendo obtener ahorros del orden del 60%.

Figura 6. Variador de Velocidad.



Fuente: Ahorro de energía con Velocidad Variable en Sistemas de Aire Acondicionado, Ibarra 2005; York

Descripción de la Tecnología Eficiente

1.1.4.1 Metodología para el Cálculo de Ahorro de Energía en Variador de Velocidad

Para calcular la velocidad del motor eléctrico, se determina la potencia de salida con la siguiente formula:

$$\text{Potencia salida (Hp)} = \frac{T \cdot S}{K}$$

Fuente: AHRI estándar 1210 -2011

Donde:

S = Velocidad, rpm
 T = Torque, ft-lbs
 K = 5252

Note: 5252 = 33,000 ft-lbs/min / 2π rad/rev

La eficiencia del sistema de Velocidad Variable, puede ser Calculada de la siguiente forma:

$$\text{Eficiencia variador de Velocidad \%} = \frac{\text{Potencia salida (Hp)}}{\text{Potencia entreda (Hp)}}$$

Note: En práctica habitual, los datos de potencia se adquiere y se mide en kW.

$$AE = \left(0.746 * Oi * n * \left[\frac{kW}{hp} \right] \right) \left(\frac{(FcA)(Potencia_{Actual})}{\eta_{actual}} - \frac{(FcN)(Potencia_{Actual})}{\eta_{nueva}} \right)$$

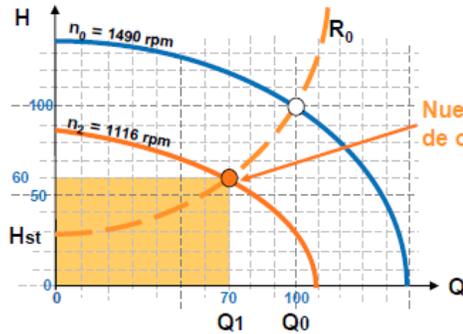
Fuente: Elaboración con datos de CONUEE; Motores Eléctricos y FIDE-.

Donde AE es la reducción de la potencia:

- AE = Ahorro de Energía kWh
- i = corresponden a diferentes valores de potencia de entrada nominal de los motores
- ni = Número de motores remplazados
- oi = Horas de operación promedio al año
- FcA = Factor de carga actual porciento
- FcN = factor de carga Nuevo porciento
- η_{actual} = Eficiencia actual del motor
- η_{nueva} = Eficiencia del motor propuesto

Figura 7. Variación de velocidad y de potencia en un sistema de bombeo.

Control de Q → Variación de velocidad

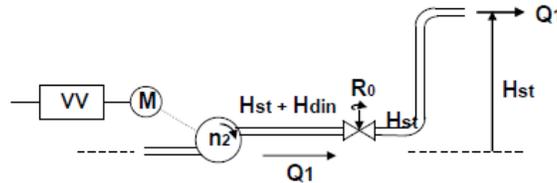


Objetivo: establecer $Q = 70$ l/s

Método: disminuir la velocidad de la bomba desde la nominal del motor hasta aquella en que el punto de operación con R_0 imponga $Q = 70$.
 Reduce simultáneamente H y Q.

Potencia: prop. al área $H \times Q$
 $\diamond 0,6 \times 70$

P = 42 kW



Fuente: variadores de Variable en el Sector Industrial, Energy Lab 2010.

1.1.5 Sistemas de Aire Comprimido

El compresor de aire es una máquina que genera un flujo volumétrico de aire comprimido y suministrado en condiciones de temperatura y presión.

Los compresores de desplazamiento positivo, son aquellos en los cuales volúmenes consecutivos de aire son confiados dentro de un espacio, normalmente cerrado, llevándolos a una presión mayor a la atmosférica, solo definiremos los tipo reciprocantes y los tornillo, ya que son los de uso comercial en el sector industrial:

- Reciprocantes o Tipo Pistón.- Los compresores reciprocantes son máquinas en las cuales el elemento de desplazamiento y compresión es un pistón, con movimiento alternativo dentro de un cilindro.
- Tipo Rotativo o Tipo Tornillo.- Los compresores de tornillo son maquinas rotatorias en las cuales 2 rotores se entrelazan, desplazando y comprimiendo el aire como en secuencia.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Las investigaciones sobre los sistemas de aire comprimido han demostrado que pueden reducirse sustancialmente los costos del consumo de electricidad al incrementar su eficiencia. El aire comprimido es un sistema vital para toda industria, por lo que un sistema de aire comprimido, debe ser confiable y eficiente.

En la industria el aire comprimido es considerado un energético principal, es utilizado generalmente, como un medio de transmisión de energía para propósitos múltiples, señalándose como principales usos los siguientes:

- Energía para movimiento de herramientas y equipos.
- Energía para manejo de materiales, en cuanto a transporte, distribución colección de polvos, etc.
- Energía para control y operación de procesos o equipos, etc. (Energía Potencial, inversa con respecto a Presión Atmosférica), para manejo de Materiales, crear atmósferas especiales en procesos, etc.

El costo del aire comprimido es considerado alto dentro de la industria, principalmente por el costo en el consumo de la energía eléctrica, más el costo de la instalación, operación y mantenimiento que en su conjunto representa un energético costoso.

Claves para la selección de Compresores: En las industrias se utilizan compresores de todos tipos y tamaños para aire y gases, la selección se basa en los fundamentos de la termodinámica, y no se debe considerar que solo los fabricantes puedan hacer la selección inicial del compresor para condiciones dadas del proceso.

En forma resumida para realizar una selección adecuada se debe tener cierta información acerca de las condiciones de funcionamiento de cualquier compresor y las propiedades del aire que se va a comprimir. En los compresores de aire se requiere la humedad relativa o temperatura del bulbo húmedo en la entrada, con lo cual se puede determinar la cantidad de humedad que hay en el aire, las presiones y temperaturas se deben dar en las condiciones de succión, y la presión en las condiciones de descarga, incluso la presión de cualquier carga lateral o requisito intermedio en el ciclo total de compresión. No se da la temperatura de descarga, sino se calcula para incluir los efectos del aumento de temperatura durante la compresión. Las presiones, por lo general se expresan en lb/in² manométricas (psia) o en lb/in² absolutas (psia). Las capacidades se pueden expresar en diversas formas:

- Flujo en peso, W, lb/h o lb/min.
- Gasto, referido a las condiciones estándar, que suele ser 1 bar (14.7 psia) y 60 °F. y se pueden ser expresados como:
 - SCFM (PCME): pies cúbicos estándar por minuto.
 - SCFM (PCMS): pies cúbicos estándar por minuto en la succión.
 - SCFH (PCHE): pies cúbicos estándar por hora
 - SMCFMD (MMPCDE): millones de pies cúbicos estándar por día (24 horas)

Aunque realmente no importa tanto la forma en que se exprese la capacidad, solo hay que establecer todas las condiciones iniciales a los mismos sistemas de unidades y convertir estas a las condiciones de succión para poder lograr la selección del tamaño correcto.

1.1.5.1 Normatividad y Certificación de Compresores de Aire

Actualmente no existe alguna normatividad para certificar a los compresores de aire, pero se han desarrollado programas, en la que han establecido rendimientos energéticos, con referencia internacional, con la finalidad de poder definir los equipos de mayor rendimiento energético, a continuación se presentan los valores que se tomaron como referencia.

Para definir a un compresor de aire eficiente se tomo como referencia el documento de Power Samart Inc. Que se ubicada en Vancouver, B.C. donde indica que un compresor de aire eficiente debe ser certificado por la CSA para venta en Canadá, donde los equipos deben cumplir o exceder los 4.5 scfm/bhp (standard cubic feet per minute per brake horsepower), asimismo el rango de capacidad debe ser basado en el aire libre entregado FAD (Free Air Delivery) del paquete compresor el cual es medido en la brida de descarga, adicionalmente el método de prueba debe cumplir con las normas internacionales ISO1217, ASME PTC9 y 10, así como PNEUROP - CAGI PN2CPTC2.

1.1.5.2 Diseño de red de aire comprimido y control

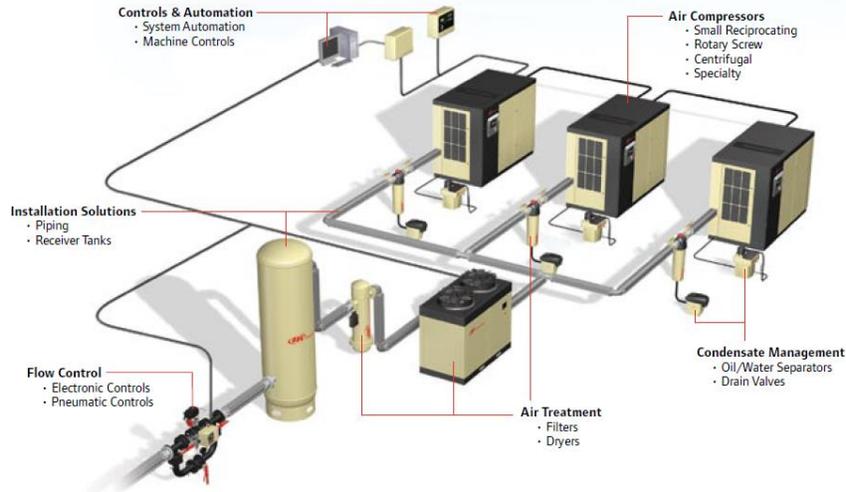
La eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido es más efectiva cuando se audita el conjunto de la instalación de una manera integral. Tradicionalmente se ha trabajado principalmente en la tecnología de los compresores y su gestión, pues los equipos de preparación de aire son una parte muy elevada de la inversión inicial. Esta buena práctica se complementará con otras actuaciones, como el uso final del aire comprimido y la sustitución de elementos por otros más eficientes, la sectorización, la gestión de fugas, el análisis de la red de distribución, la formación a los usuarios. Por lo tanto, hay que afrontar el ahorro energético en sistemas de aire comprimido con un grado de experiencia muy exigente y con diferentes herramientas para afrontar cada punto.

Para determinar los potenciales energéticos se requiere hacer una evaluación del sistema de aire comprimido, iniciando desde la red de distribución para verificar si existen caídas de presión, falta de mantenimiento, fugas, etc, esto puede provocar un desperdicio de aire y por consecuencia un incremento de consumo de energía eléctrica.

Por lo tanto hay verificar que se tenga un buen diseño de la red de suministro de aire.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Figura 8. Red de suministro de aire comprimido



Fuente: Brochure, IR

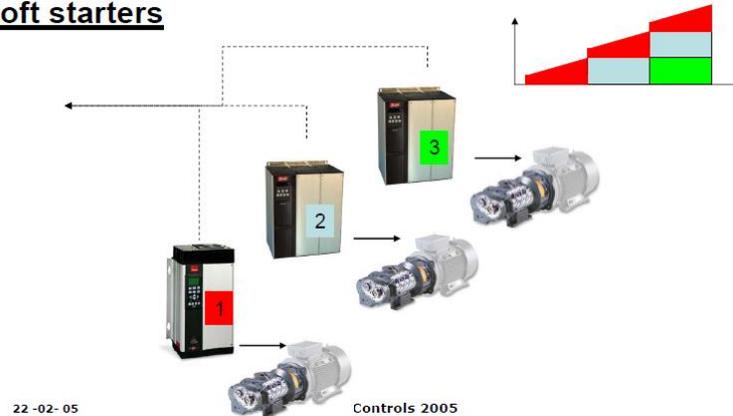
Otra medida potencial de ahorro es el control del suministro de aire que va de acuerdo a los requerimiento de carga que requiere la planta y se pueden instalar un variador de velocidad, o hacer una distribución adecuada en función de los requerimiento de carga.

A continuación se presentan a manera de ejemplo dos métodos de control de los equipos de aire comprimido en función de la carga que se requiere suministrar

Figura 9. Sistema de Control de equipos de aire comprimido



Control en cascada con 1 Drive y 2 Soft starters



Fuente: Ahorro de Energía en Compresores de Aire y Amoniaco, Danfoss, 2005

Lo anterior permite generar ahorros de energía de forma importante al sistema de compresión de aire.

1.1.5.3 Cálculo por disminución de pérdidas en la red Diseño, fugas y control del aire comprimido

El costo por consumo de energía se estima de la siguiente manera:

La reducción en la consumo puede presentarse en dos condiciones:

$$AE = (HP * 0.746 * Oi) \left(\frac{(FcA)(100)}{\eta_{actual}} - \frac{(FcN)(100)}{\eta_{Actual}} \right)$$

Donde AE es la reducción de la potencia:

- AE = Ahorro de Energía kWh
- i* = corresponden a diferentes valores de potencia de entrada nominal de los motores
- ni* = Número de motores remplazados
- oi* = Horas de operación promedio al año
- FcA = Factor de carga actual porciento
- FcN = factor de carga Nuevo porciento
- η_{actual} = Eficiencia actual del motor

1.1.5.4 Metodología para el Cálculo de Ahorro de Energía en Compresores de Aire Eficientes

De acuerdo a la metodología de monitoreo para proyecto de pequeña escala establecida para proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) aprobada por la junta ejecutiva AMS II.C **II.C. Demand-side energy efficiency activities for specific technologies** se establece la regla para calcular el ahorro de energía obtenido por el equipo de proyecto comparado con el equipo de línea base. Asimismo se presentó el PDD *Factory energy efficiency improvement in compressed air demand in Mexico*, el cual indica el proyecto para sustituir un sistema de aire comprimido por uno más eficiente.

A continuación se presenta la fórmula para calcular el ahorro de energía.

$$AE_{comp} = Si [(nB_{comp} * pB_{comp} * oB_{comp}) - (nI_{comp} * pI_{comp} * oI_{comp})]$$

$$P_{(B \text{ ó } L)_{comp}} = 0.746 \cdot FC \cdot hp_i \cdot \left(\frac{100}{\eta_{hi}} \right) \text{ (Definiciones en tema motores)}$$

$$FB_{air,comp} \approx FL_{air,comp}$$

Fuente: Elaboración propia,

Referencia PDD - Factory energy efficiency improvement in compressed air demand in Mexico ver 3.

AE_{comp} = Unidades de consumo de electricidad anual del compresor en escenario de línea base en kWh por año

Si = La suma sobre el grupo de "i" dispositivo remplazado para lo cual el remplazo está en funcionamiento durante el año, implementado como parte del proyecto.

nB_{comp} = El número de sistema de distribución de aire en el escenario de línea base.

nI_{comp} = El número de sistema de distribución de aire en el escenario de proyecto.

pB_{comp} = Consumo de electricidad por hora de un compresor en el escenario de línea base (motor ineficiente).

pI_{comp} = Consumo de electricidad por hora de un compresor en el escenario de proyecto (motor alta eficiencia Sello FIDE 2012o NOM 016 ENER 2010).

oB_{comp} = Horas de operación anual escenario línea base.

oI_{comp} = Horas de operación anual escenario de proyecto.

$FB_{air,comp}$ = El volumen de flujo de aire de una unidad de compresión en el escenario de línea base.

$FL_{air,comp}$ = El volumen de flujo de aire de una unidad de compresión en el escenario de proyecto.

1.1.5.5 Analisis Comparativo de Compresores de Aire

Para evaluar el ahorro que se tiene por la aplicación de compresores eficientes se debe tener en cuenta que este tipo de equipo entrega más cantidad (volumen CFM) de aire por

cada caballo de potencia, en comparación con los equipos estándar de la misma capacidad de motor; si tomamos como ejemplo los motores de 20 hp, los compresores estándar entregan una cantidad promedio de aire de 66.9 CFM, mientras que los del tipo eficiente que entregan 102.4 CFM. Como se puede apreciar el equipo eficiente entregan un 53% más de aire que el estándar. El porcentaje de aire adicional que entregan los compresores eficientes varía para cada capacidad de equipo.

Con base en lo anterior, si lo que importa en un compresor es la producción de aire a una presión establecida, entonces, a mayor producción de aire con la misma potencia de motor implica mayor eficiencia. Gracias a que los nuevos equipos eficientes tienen incorporados accesorios más eficientes que los que integraban los equipos anteriores, es por ello que a su vez se tiene una menor demanda de potencia eléctrica para equipos de la misma potencia de placa (PA Consulting, 2004).

Tabla 16. Ahorro consumo por reemplazo de compresores de aire antiguos.

Condiciones de Referencia del Compresor Estándar			Condiciones de Referencia del Compresor Eficiente		
Capacidad del Compresor estándar, hp	CFM promedio 1/	CFM/hp	Capacidad del Compresor Eficiente, hp	CFM que puede entregar 2/	CFM/hp
5	14.0	2.8	3	12	4.0
7.5	22.0	2.9	5	21.2	4.2
10	30.0	3.0	7.5	32.0	4.3
15	45.0	3.0	10	43.9	4.4
20	66.9	3.3	15	78.4	5.2
25	86.7	3.5	20	102.4	5.1
30	105.0	3.5	25	126.4	5.1
40	143.7	3.6	30	149.0	5.0
50	180.5	3.6	40	194.0	4.9
60	243.0	4.1	50	239.0	4.8
75	294.6	3.9	60	292.0	4.9
100	400.1	4.0	75	386.0	5.1
125	510.3	4.1	100	497.0	5.0
150	606.6	4.0	125	690.0	5.5
200	821.6	4.1	150	825.0	5.5
250	1022.3	4.1	200	1011.0	5.1

Fuente: Elaboración con datos estudio de PA Consulting, 2004 y catálogo de fabricantes.

1/ Valores establecido PA Consulting; Monitoreo y Evaluación Programa Incentivos; 2004

2/ Valores catálogos de fabricantes 2016.

1.1.6 Acondicionadores de Aire

El acondicionador de aire es un aparato diseñado para extraer calor y humedad del aire de un cuarto cerrado, pudiendo también contar con medios para ventilación, extracción y calefacción de aire, existen varias tecnologías en el mercado, el cual se adecua al tipo de sector o negocio, como son los equipos ventana, minsplit, paquete, divididos o Chillers para edificaciones.

Actualmente los minisplits tipo inverter son una novedad en el mercado internacional, ya que cuenta con la unidad con los mismos 4 elementos básicos del circuito de refrigeración sólo que se ayuda de la tecnología y la electrónica para lograr mayores eficiencias. Las unidades de eficiencia estándar cuentan con una tarjeta electrónica básica, mientras que los minisplits inverter cuentan con más tarjetas que controlan y gobiernan los diferentes elementos como el compresor, válvulas de expansión electrónicas y hasta los motores de los ventiladores. Un minisplit tipo inverter definitivamente suele ser una excelente Inversión. Las eficiencias de estas unidades difícilmente son alcanzadas por unidades centrales. Son extremadamente silenciosas ya que varían la velocidad de los ventiladores y la de compresor mismo. Mantiene un mejor confort en la zona que una unidad estándar.

1.1.6.1 Normatividad y Certificación de Compresores de Aire

a) Eficiencia de Acondicionadores Tipo Ventana

El 4 de agosto de 2008, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Norma Oficial Mexicana NOM-021-ENER/SCFI-2008, Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado. Esta norma sustituye a la NOM-021-ENER-2000.

La primera norma establecida para equipos tipo cuarto que indica los valores de Relación de Eficiencia Energética (REE)³, fue en 1994 registrándose con la NOM-073-SCFI-1994. Los valores de REE las podemos comparar contra los valores de sello FIDE, como se muestra en la siguiente tabla.

³ Especifica la eficiencia energética de un acondicionador de aire tipo cuarto y se determina dividiendo el valor del efecto neto de enfriamiento en el lado interno, en W, entre el valor de la potencia eléctrica de entrada, en W, estos dos valores se obtienen de la prueba de eficiencia energética en un calorímetro de cuarto y se expresa en W/W.

Tabla 17. Valores de REE de acondicionadores de aire tipo cuarto de NOMs y Sello FIDE. (sin ciclo inverso y con ranuras laterales).

Equipos de Acondicionadores de Aire Tipo Cuarto						
Alcance	Parámetro	Unidades	Limites Energéticos			
			NOM-O73-SCFI-1994	NOM-ENER-021-2000 / 2008	SELLO FIDE 2012	% Diferencia NOM- O73-SCFI-1994 VS. SELLO FIDE
Menor a 5,999 BTU/h	Relación de Eficiencia Energética REE (EER en ingles)	W/W (BTU/W-h)	2.34 (8.00)	2.84 (9.70)	2.98 (10.20)	27.0%
6,000 A 7.999 BTU/h			2.49 (8.50)	2.84 (9.70)	3.07 (10.50)	23.0%
8,000 A 13.999 BTU/h			2.49 (8.50)	2.87 (9.80)	3.07 (10.50)	23.0%
14,000 A 19,999 BTU/h			2.49 (8.50)	2.84 (9.70)	2.98 (10.20)	20.0%
20,000 BTU/h y mayores			2.40 (8.20)	2.49 (8.50)	2.72 (9.30)	13.0%

Fuente: Elaboración propia con datos de NOMs y Sello FIDE.

Es importante comentar, que los equipos tipo ventana cada vez tienen menos aceptación en el mercado, por ser tan robustos y su complejidad en su instalación, se requiere hacer una abertura en la pared para instalar el equipo. La tendencia actual del mercado es adquirir equipos tanto Minisplit como Multisplit, debido a su ventajas, como no requerir ductos para su instalación, menor ruido, más compactos y se puede tener un control de temperatura por zonas.

b) Eficiencia de Acondicionadores Tipo Mini Split

En el mes de mayo del 2010, se publicó en el DOF el Proyecto de NOM para los equipos tipo Minisplit y Multisplit, la cual establece los siguientes valores de REE, asimismo las compararemos con los valores actuales de Sello FIDE.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Tabla 18. Valores de REE de equipos tipo Minisplit y Multisplit de NOMs y Sello FIDE. (sin ciclo inverso y con ranuras laterales).

TIPO	Capacidad de Enfriamiento, en Wt	Equivalencia Enfriamiento BTU/h	NOM 023 ENER 2010 REE		Sello FIDE REE - 2012	
			Wt/We	[BTU/h]/W	Wt/We	[BTU/h]/W
Minisplit o Multisplit	menor o igual a 19,050	De 3,413 hasta 65,001	2.72	9.30	3.02	10.30

Fuente: Elaboración con datos de NOM,s y Sello FIDE

c) Eficiencia de Acondicionadores Tipo Mini Split inverter

Así como en la mayoría de los equipos de aire acondicionado, se pueden encontrar varias eficiencias en los equipos minisplits. Desde el equipo de eficiencia estándar hasta la más avanzada tecnología como el Minisplit Inverter. Las eficiencias mínimas normalmente andan en los 9.3 SEER que es lo mínimo que pide la Norma Oficial Mexicana para importar y comercializar minisplits en México, de 16 y existen hasta 22 SEER para equipos con tecnología Inverter (Minisplits tipo Inverter mayor eficiencia).

Tabla 19. Valores de REE de equipos tipo Minisplit. (sin ciclo inverso).

TIPO	Equivalencia Enfriamiento BTU/h	NOM 026 ENER 2015 REE	
		Wt/We	[BTU/h]/Wh EER
Minisplit	Hasta 4 101 (13 993)	4.68	16
	Mayor que 4 101 (13 993) hasta 5 859 (19 991.493)	4.68	16
	Mayor que 5 859 (19 991.493) hasta 10 600 (36 168.26)	4.39	15
	Mayor que 10 600 (36168.26) hasta 19 050 (65 000.505)	4.69 a 6.48	14

Fuente: Elaboración con datos de NOM,s

d) Eficiencia de Acondicionadores Tipo Paquete o Dividido

Asimismo, el 22 de Junio del 2007, se publicó en el DOF la Norma Oficial Mexicana NOM-011-ENER-2006, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central paquete o dividido. Límite, métodos de prueba y etiquetado.

Con relación a los equipos tipo paquete, en su Norma, se establecen los valores de Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE)⁴, los cuales podemos observar en la tabla siguiente, junto con los valores especificados por el Sello FIDE.

Tabla 20. Valores de REEE acondicionadores de aire tipo central y dividido de NOMs y Sello FIDE.

Equipos de Acondicionadores de Aire Tipo Central (Paquete y Dividido)						
Alcance	Parámetros	Unidades	Limites Energéticos			
			NOM-ENER-011-1996 / 2002	NOM-ENER-011-2006	SELLO FIDE 2012	% DIFERENCIA NOM-ENER-011-2002 VS. SELLO FIDE
Desde 36,000 hasta 60,000 BTU/h	Relación de Eficiencia Energética Estacional REEE (SEER en ingles)	W/W (BTU/W-h)	2.93 (10.00)	3.80 (13.00)	3.81 (14.00)	30%

Fuente: Elaboración propia con datos de NOMs y Sello FIDE.

a) Acondicionadores de Aire Tipo Chillers

Un Chillers es un equipo de refrigeración que permite enfriar fluidos y es utilizado en los Edificios Gubernamentales de oficinas como el principal sistema de Acondicionamiento de Aire, el cual representa ser uno de los sistemas de mayor consumo de energía eléctrica.

Existen en los medios diferentes tipos Chillers, los cuales encontramos los de a base de Compresión Mecánica en sus variantes que se mencionan a continuación:

- Compresores Tipo Reciprocante, Tornillo y Scroll
- Compresores Tipo Centrifugo

Asimismo encontramos los de tipo Absorción, el cual tiene el suministro a base Gases de Combustión, o usando vapor o agua caliente como Fuente de Calor.

A Inicios de la mitad de los 80's los compresores tipo tornillo estuvieron disponibles como alternativas para sustituir a los compresores tipo reciprocante y para compresores tipo centrifugo en ciertos rangos de capacidad. Adicionalmente los compresores Scroll aparecieron prácticamente al mismo tiempo y han resultado ser una buena alternativa para sustituir a los compresores reciprocantes.

⁴ Es la relación del enfriamiento total de un equipo de aire acondicionado tipo central en watts térmicos (Wt), transferidos del interior al exterior, durante un año de uso, dividido entre la potencia eléctrica total suministrada al equipo en watts eléctricos (We) durante el mismo lapso.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Los Chillers de hoy en día consumen alrededor de un 35% menos de electricidad que el promedio de los Producidos hace 20 Años.

- Las eficiencias originales a plena carga varían de 0.72 to 0.90 kW/ton.
- Las eficiencias en el reemplazo varían de 0.48 to 0.65 kW/ton0.65 ton.

El mejor chiller hoy en día consume la mitad de la electricidad del promedio de los Chillers Producidos en 1976. La vida promedio de los Chillers varía de 25 a 30 años con Buen Mantenimiento.

Cabe señalar que para el monitoreo de la eficiencia energética de los compresores, es utilizado la eficiencia isentrópica. La eficiencia isentrópica del compresor, puede ser entendida como la relación entre la energía requerida en una compresión adiabática reversible (ideal) y la energía realmente consumida. Esto es un punto fundamental que determina si el equipo es más o menos eficiente.

Ejemplo (valores promedios):

- Compresor alternativo: 0,58
- Compresor scroll: 0,68
- Compresor de tornillo: 0,72
- Compresor centrífugo : 0,85

Principales parámetros utilizados:

- COP (CoefficientofPerformance)
- EER (EnergyEfficiencyRatio)
- RelaciónKW/TR

- ***COP (Coefficient of Performance Performance)***

Este índice relaciona la capacidad de remoción de calor de un equipo (Energía Útil o Efecto Frigorífico) con la potencia requerida por el compresor (Energía Consumida). Cuanto mayor es el COP, mejor el desempeño del equipo.

Ejemplo: Chiller49000 kcal/h; R-22; 60Hzt agua: 12°C; t ambiente: 30°C; Potencia frigorífica: 56,97 kW; Potencia absorbida por el compresor: 11,8 kW; COP: 4,82.

- ***EER (Energy Efficiency Rate)***

El EER es otra forma de indicar la eficiencia de una máquina frigorífica, relacionando el efecto frigorífico (EF) producido con el trabajo de compresión (W) utilizado. Normalmente se suma la potencia de los ventiladores.

Ejemplo: Chiller49000 kcal/h R22; 60Hzt agua: 12°C; t ambiente: 30°C; Potencia frigorífica: 56,97 kW; Potencia absorbida por el compresor: 11,8 kW; Potencia absorbida por los ventiladores: 1,8 kW; EER: 4,17 (compresor + ventilador).

- ***kW/TR***

Otra manera de indicar la eficiencia energética de un equipo de enfriamiento es la relación kW/TR, siendo lo TR (Toneladas de Refrigeración) equivalente a 12.000 BTU/h o 3024 kcal/h. Así, se relaciona el trabajo de compresión (kW), con el efecto Frigorífico (TR).

Ejemplo: Chiller49000 kcal/h; R22; 60Hzt agua: 12°Ct ambiente: 30°C; Potencia frigorífica: 56,97 kW= 16,23 TR; Potencia absorbida por el compresor: 11,8 kW; kW/TR: 0,72.

- **Determinación de la eficiencia de un Chiller en operación**

Actualmente, en México no existe norma de eficiencia energética para los chiller que se comercializan en México, pero los principales fabricantes de los equipos se encuentran en Estados Unidos, por lo tanto los equipos son fabricados con los requerimientos de norma de aquel país, y llegan a México equipos considerados de alta eficiencia.

La relación de eficiencia energética de un equipo se determina en los laboratorios de prueba de las empresas fabricantes así como en los laboratorios de certificación aprobados. Tanto fabricantes como inspectores se rigen por la normatividad vigente en ese momento y por lo tanto las mediciones en estos laboratorios son controladas de manera muy estricta y los programas de cómputo y simulación que le dan seguimiento a las pruebas por lo general son desarrollados por especialistas técnicos.

Para determinar la relación de eficiencia de un equipo existente, se tiene que realizar un Diagnostico aplicando la metodología de medición que consiste básicamente en determinar el retiro efectivo de calor del sistema y obtener la relación con el consumo de electricidad, obteniendo los siguientes parámetros:

- Temp. Temperatura ambiente exterior. °F
- H.R. Humedad relativa interior (%).
- TBSe Temperatura de bulbo seco del retorno. °F
- TBHe: Temperatura de bulbo húmedo del retorno. °F
- TBSs Temperatura de bulbo seco de inyección. °F
- TBHs Temperatura de bulbo húmedo de inyección. °F
- CFM Flujo volumétrico de aire (pies cúbicos/min)
- GPM Flujo másico de agua helada a través del intercambiador del evaporador.
- H Cambio de entalpía del aire (BTU/lbm) Q Calor retirado total (BTU/h)
- REE Eficiencia energética medida (KBTU/Kwh)

El retiro de calor se determinó midiendo los flujos másicos, temperatura de inyección y retorno del agua helada. Se midieron asimismo las temperaturas de la tubería de conducción de refrigerante en la succión y descarga del compresor. En los aparatos donde fue posible hacerlo, se midieron las presiones en ambos lados del compresor.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Se midieron el flujo de aire, humedad, y temperatura del aire exterior entrante al serpentín del condensador. Se midieron las temperaturas superficiales del serpentín del condensador, especialmente en aquellos equipos desprovistos de sus protecciones y que recibían asoleamiento directamente. Se encontraron temperaturas cercanas a los 85 °F en los equipos se hallan instalados en las instalaciones de FONATUR.

El proceso que se sigue para la determinación de la eficiencia real de los equipos de generación de agua helada se apegan a la Norma de ARI. (ARI/STÁNDAR 550/590), en el cual se contempla el cálculo de la relación de eficiencia energética EER a cargas parciales. (IPLV/NPLV), que indica que la eficiencia a cargas parciales se determina de la siguiente forma:

$$\text{IPLV} = 0.01 A + 0.42 B + 0.45 C + 0.12 D$$

En donde:

IPLV: Valor Integrado a cargas parciales.

A = es la relación de eficiencia energética al 100% de la capacidad del equipo.

B = es la relación de eficiencia energética al 75% de la capacidad del equipo.

C = es la relación de eficiencia energética al 50% de la capacidad del equipo.

D = es la relación de eficiencia energética al 25% de la capacidad del equipo.

Mediante la aplicación de este método con las temperaturas características de la Ciudad de México y el horario programado, se puede pronosticar el consumo de energía de una unidad generadora de agua helada.

1.1.6.2 Metodología para Calcular el Ahorro de Energía Eléctrica para Acondicionadores de Aire

La disminución en demanda y energía se obtiene por el uso de acondicionador de aire con una relación de eficiencia energética REE menor, los equipos comercializados hace más de 10 años tenían una tecnología que ofrecía una mayor REE, por lo tanto la menor potencia de los equipos, nos proporcionar ahorros energéticos sin demeritar la cantidad de aire para enfriamiento.

La siguiente formula permite calcular el ahorro de energía eléctrica, por la sustitución de un acondicionador de aire.

$$\text{AE}_i = n * (P_{i, BL} * O_{i, BL} - P_{i, PJ} * O_{i, PJ}) / 1000$$

Fuente: Elaboración propia

$$P_i, BL (W_e) = W_t / REE$$

$$REE = EER^5 \text{ ó } SEER^6 / 3.412$$

Donde:

i = Contador para el tipo de dispositivo de acondicionador de aire por ejemplo, 1 TR (Tonelada de Refrigeración) REE 8.5 BTU/h, acondicionador de alta eficiencia 1 TR, REE 16 BTU/h.

n = Numero de tipos de dispositivos de acondicionadores de aire

AE_i = Estimación de ahorro anual de electricidad para los equipos del tipo i , de acuerdo a la tecnológico de referencia. (kWh)

P_i, BL = Potencia nominal de los dispositivos de acondicionadores de aire de referencia (REE ó REEE inef) del grupo del tipo i los dispositivos de acondicionadores de aire ineficiente (Watts)

P_i, PJ = Potencia nominal de los dispositivos de proyecto de acondicionadores de aire (REE ó REEE AF), del grupo de "los dispositivos de acondicionadores de aire i eficiente" (Watts)

$O_i BL$ = El promedio de horas diarias de funcionamiento de los dispositivos de acondicionadores de aire (REE inef), reemplazados por el grupo de "los dispositivos de acondicionadores de aire i ", ejemplo 11 horas por cada período de 24 horas, durante 26.4 días al mes y 7 meses al año..

$O_i PJ$ = El promedio de horas diarias de funcionamiento de los dispositivos de acondicionadores de aire (REE inef), reemplazados por el grupo de "los dispositivos de acondicionadores de aire i ", ejemplo 7.7 horas por cada período de 24 horas, durante 26.4 días al mes y 7 meses al año.

1.1.7 Aislamiento térmico para Sistemas de Aire Acondicionado

Los Aislantes térmicos son materiales específicamente diseñados para reducir el flujo de calor limitando la conducción, convección o ambos. Las barreras de radiación, son materiales que reflejan la radiación, reduciendo así el flujo de calor proveniente de fuentes de radiación térmica. Los buenos aislantes no son necesariamente buenas barreras de radiación, y viceversa. Los metales, por ejemplo, son excelentes reflectores pero muy malos aislantes.

La efectividad de un aislante está indicada por su Resistencia, para la cual que se maneja el Valor "R".

⁵ EER (siglas en ingles de la REE), unidades en BTU/h; 1 BTU/h = 0.293071 Wt

⁶ SEER (Siglas en ingles de REEE) unidades en BTU/W-h

Descripción de la Tecnología Eficiente

Las unidades para la resistencia de aislantes térmicos (“Valor R”) son en el Sistema Internacional: **m^2K/W** .

Las unidades para el coeficiente de conductividad o transmitancia térmica (Factor “k” o Factor “U”, se manejan ambos modos) es el inverso del Valor R: **$U= 1/R$ (W/m^2K)**

Asimismo, es importante la aplicación de aislamientos térmicos en los sistemas de Aire Acondicionado para proteger las tuberías y ductos de la pérdida de calor o frío. En México, generalmente se usa el polietileno para el aislamiento de tuberías, el cual tiene varias capas (para una mayor resistencia) y una cubierta de aluminio. La presentación viene con su propia cinta adhesiva para aplicarla sobre el producto. También se usan aislantes de fibra de vidrio.

Figura 10. Aislamiento térmico para ductos de aire acondicionado



Aislante de polietileno

Fuente: Eficiencia Energética en Instalaciones, GIZ 2010.

Es necesario forrar con aislante térmico los ductos para evitar que la temperatura del aire baje. La fibra de vidrio es un material aislante a base de poliuretano con recubrimiento o capa exterior de aluminio. El aislamiento debe dejarse como pestaña para unirla y sellar todo el tubo. En el mercado también hay cinta adherible para aplicarla sobre la fibra de vidrio.

1.1.7.1 Normas de Envoltentes Térmicos para Edificaciones

Para las envoltentes de la vivienda hay tres normas que son de mayor interés y que a continuación son mencionadas:

Tabla 21. Normas correspondientes para el aislamiento

Norma	Nombre
NMX-C-460-ONNCCE-2009	Industria de la construcción - Aislamiento térmico – Valor “R” para las envoltentes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana - Especificaciones y verificación.
NOM-018-ENER-2011	Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.

NOM-008-ENER-2001	Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales
NOM-020-ENER-2011	Eficiencia Energética en Edificaciones - Envolvente de edificios residenciales"

Fuente: Código de Edificación de Vivienda (CEV), CONAVI, 2010

A continuación describiremos en breve la NOM 018 ENER 2011 y la NMX C 460 ONNCCE 2009, que determina el método de cálculo para la carga térmica y así establecer los requerimiento para lograr una edificación sustentable.

a) NOM-020-ENER-2011

El objetivo de la NOM-020-ENER-2011 es limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, racionalizando el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento y mejorando las condiciones de confort térmico al interior de los espacios de la vivienda.

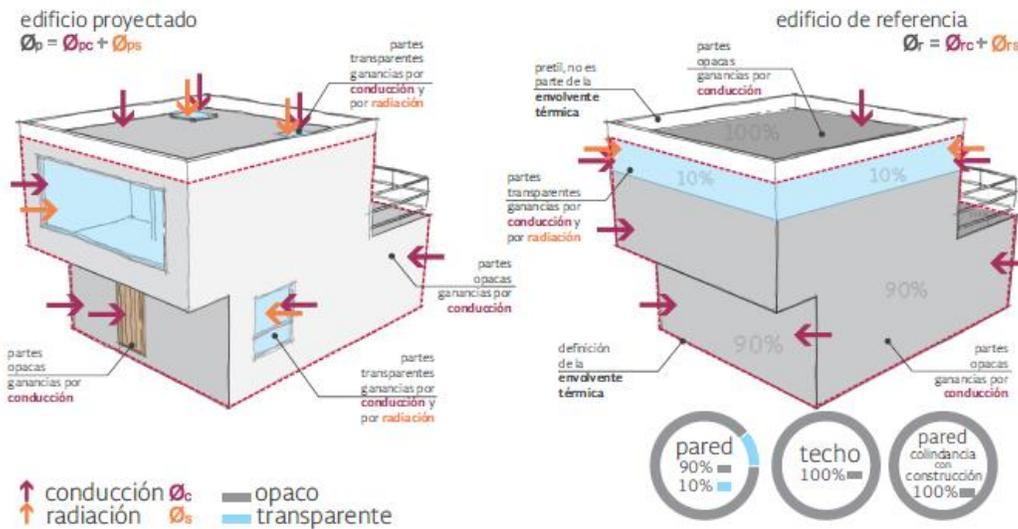
En este sentido, esta Norma optimiza el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, obteniéndose como beneficios, la disminución de la temperatura al interior y con ello el ahorro de energía por la reducción de la capacidad de los equipos de enfriamiento.

Edificio de referencia y edificio proyectado El edificio de referencia (ER), es una edificación supuesta o virtual, que no se construye, pero se calcula su presupuesto energético para tener una línea de referencia con la cual comparar la vivienda que se va construir (edificio proyectado).

El ER tiene una geometría igual al edificio proyectado (EP), con algunos cambios en las especificaciones de los componentes.

Descripción de la Tecnología Eficiente

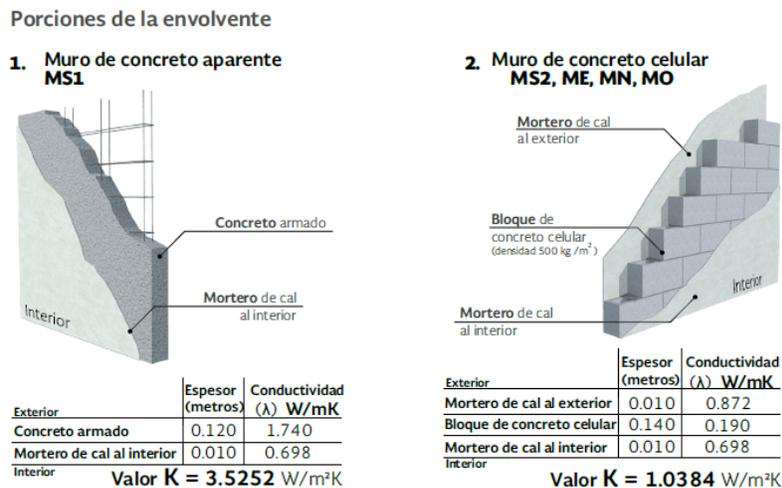
Figura 11. Edificio de Referencia y Edificio Proyectada.



Fuente: Guía rápida para el cálculo de la NOM-020-ENER-2011

A continuación a manera de ejemplo, se presenta un comparativo de dos materiales de construcción en la que se señala las diferencias que existen en factor K, Muro de concreto valor $k=3,5252 \text{ W/m}^2\text{K}$ contra Muro de concreto celular $K=1.0384 \text{ W/m}^2\text{K}$, esto nos permite reducir la ganancia de calor de un inmueble, lo que nos ayuda a que los aires acondicionado tengan un mejor rendimiento, con una operación menor, logrando un ahorro energético por esta aplicación. Este ejemplo se refleja cuando aplicar aislamiento térmico en el techo de los inmuebles o paredes de mayor.

Figura 12. Porciones de envoltente térmico.



Fuente: GUÍA RÁPIDA PARA EL CÁLCULO DE LA NOM-020-ENER-2011

b) NMX-C-460-ONNCCE-2009

La NMX-C-460-ONNCCE-2009 incorpora información que ayuda a disminuir el uso de energía en las viviendas por concepto de climatización, al establecer los valores de resistencia térmica total (Valor “R”) para techos, muros y entrepisos ventilados de acuerdo a la zona térmica en donde se localice la vivienda y al propósito inmediato del aislamiento.

Con el Valor “R” (la resistencia térmica) se mide la capacidad de los materiales para aislar.

Las unidades de medida son:

- m²K/W (en el sistema internacional); y
- ft² h °F / BTU (en el sistema inglés)

En la NMX-C-460-ONNCCE-2009 se definen 3 criterios para seleccionar el Valor “R” a utilizarse:

- Valor «R» MÍNIMO (cumple al límite menor de los estándares de construcción)
- Valor «R» para HABITABILIDAD (Uso mínimo de equipos de climatización sin buscar la eficiencia energética con elementos de diseño bioclimático)
- Valor «R» para AHORRO DE ENERGÍA (Uso de sistemas de calefacción o A/C diseñados y construidos para obtener el máximo ahorro de energía)

Tabla 22. “Valor R” por sistema y zona térmica

Zona térmica	Techos m ² K/ W			Muros m ² K/ W			Entrepisos ventilados m ² K/ W		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía
1	1,40	2,10	2,65	1,00	1,10	1,40	NA	NA	NA
2	1,40	2,10	2,65	1,00	1,10	1,40	0,70	1,10	1,20
3 A/B/C	1,40	2,30	2,80	1,00	1,23	1,80	0,90	1,40	1,60
4 A/B/C	1,40	2,65	3,20	1,00	1,80	2,10	1,10	1,80	1,90

Fuente: NMX-C-460-ONNCCE-2009

Los elementos constructivos que constituyen a la envolvente de la vivienda, tales como techos, muros y entrepisos ventilados, deben tener una Resistencia Térmica Total (Valor “R total”) igual o mayor a las indicadas en la tabla.

Razones para aplicar el aislamiento térmico

- **Para mantener estable la temperatura del interior de una inmeble**

Descripción de la Tecnología Eficiente

Ya sea que se refrigere, se calefaccione o simplemente por el intercambio de temperaturas entre el exterior y el interior de una edificación, el aislamiento térmico permite mantener un rango de temperatura de confort (generalmente entre 18° a 24°C en el que la mayoría de las personas se siente cómoda). Para lograr y mantener esta temperatura se aplican materiales aislantes que ayudan a mantener las temperaturas deseadas en el espacio interior de los edificios.

- **Ahorro de dinero y valor agregado**

En cuanto menos se utilice el aire acondicionado o la calefacción, menos se gasta en energía y /o electricidad. Cuando la demanda de aire acondicionado se reduce en total a causa de un buen aislamiento, se pueden instalar equipos más pequeños que salen más económicos en la inversión inicial y en el mantenimiento a largo plazo. Para el sector de vivienda en México se estima que con la instalación de aislamiento en techos y muros se reduce la necesidad de refrigeración por lo menos entre un 25 y 40%.

Una edificación que tiene menos consumo de electricidad resulta más económica a largo plazo que una vivienda donde el habitante paga una factura de electricidad más alta.

1.1.7.2 Cálculo de ganancia de calor

A continuación se describen los cálculos de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado y del edificio para uso habitacional de referencia.

Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado

La ganancia de calor a través de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado, es la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir:

$$\phi_p = \phi_{pc} + \phi_{ps}$$

En donde:

ϕ_p es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado, en W;

ϕ_{pc} es la ganancia de calor por conducción a través de las partes opacas y no opacas de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado, determinada, en W;

ϕ_{ps} es la ganancia de calor por radiación solar a través de las partes no opacas de la envolvente del edificio para uso habitacional proyectado, determinada, en W.

1.1.7.3 Tipos de Materiales de Aslamiento térmico

Los aislamientos en la construcción, son los sistemas de protección desarrollados para el aumento de confort que deben reunir las viviendas, el cual consiste en poner barreras a los agentes climatológicos, concretamente, a la lluvia, frío, calor y a los ruidos.

- Fibra Mineral de Roca
- Poliestireno Expandido
- Poliestireno Extruido
- Poliuretano por Aspersión
- CoolRoof. entre otros

Es importante indicar que de acuerdo al tipo de aislamiento térmico a utilizar en una edificación y para dar cumplimiento al factor de resistencia térmica que solicita la NMX 460, se requiere un mínimo de espesor de cada material aislante como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 23. Materiales aislante es espesor para cumplir "Valor R" 1.5 °C m²/W

Espesor cm (in) Material	1.3 (1/2")	1.9 (3/4")	2.5 (1")	3.8 (1 1/2")	5.1 (2")	6.3 (2 1/2")	7.6 (3")	8.9 (3 1/2")	10.2 (4")
Poliuretano Densidad: 28 kg/m ³	0.65	0.95	1.25	1.9	2.55	3.15	3.8	4.45	5.1
Fibra de vidrio Densidad: 104.1 kg/m ³	0.41	0.59	0.78	1.19	1.59	1.97	2.38	2.78	3.19
Fibra de vidrio Densidad: 10.9 kg/m ³	0.28	0.4	0.53	0.81	1.09	1.34	1.62	1.89	2.17
Poliestireno Densidad: 17 kg/m ³	0.38	0.56	0.74	1.12	1.5	1.85	2.24	2.62	3
Poliestireno Densidad: 11 kg/m ³	0.29	0.42	0.56	0.84	1.13	1.4	1.69	1.98	2.27

Fuente: Presentación FIDE, Congreso Nacional de Ahorro de Energía y Expo - Energía

Descripción de la Tecnología Eficiente

1.1.7.4 Cálculo de ahorro de energía del aire acondicionado aplicando envolventes térmicos.

El ahorro de energía de un equipo de aire acondicionado, se verá reflejado de acuerdo al tipo de aislamiento térmico, la envolvente térmica aplicada del inmueble como ventanas, fugas, y sombras, etc. Y que en su conjunto se logre una disminución de carga térmica, permitiendo así disminuir la operación de los equipos de aire acondicionado de un inmueble:

Por lo tanto el ahorro de energía se calculará de acuerdo al porcentaje de aplicación de envolvente térmicos utilizados, el cual se alcanzará un ahorro del 40% del consumo del aire acondicionado.

$$AE_i = n * (P_{i,-} - O_i P_j) / 1000 * \% (AT)$$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$i =$ Contador para el tipo de dispositivo de acondicionador de aire por ejemplo, 1 TR (Tonelada de Refrigeración) ejemplo acondicionador de alta eficiencia 1 TR, REE 16 BTU/h. P_i , BL (We) = W_t / REE REE = EER⁷ ó SEER⁸ / 3.412

$n =$ Numero de tipos de dispositivos de acondicionadores de aire

$AE_i =$ Estimación de ahorro anual de electricidad para los equipos del tipo i , de acuerdo a la tecnológico de referencia. (kWh)

$P_i =$ Potencia nominal de los dispositivos de proyecto de acondicionadores de aire (REE ó REEE AF), del grupo de "los dispositivos de acondicionadores de aire i de referencia" (Watts).

$O_i =$ El promedio de horas diarias de funcionamiento de los dispositivos de acondicionadores de aire (REE inef), reemplazados por el grupo de "los dispositivos de acondicionadores de aire i ", ejemplo 11 horas por cada período de 24 horas, durante 26.4 días al mes y 7 meses al año..

$\% (AT)$: Estimación de Porcentaje máximo de aplicación de envolvente térmico al inmueble, 5%, 10%, 15% 20%, 30% hasta 40% del consumo.

⁷ EER (siglas en ingles de la REE), unidades en BTU/h; 1 BTU/h = 0.293071 Wt

⁸ SEER (Siglas en ingles de REEE) unidades en BTU/W-h

1.1.8 Sistemas de Refrigeración

El consumo de electricidad en los sistemas de refrigeración y la eficiencia en su empleo depende de diversos factores, como el tipo de aislamiento que tenga la cámara, el equipo de refrigeración, además de su operación.

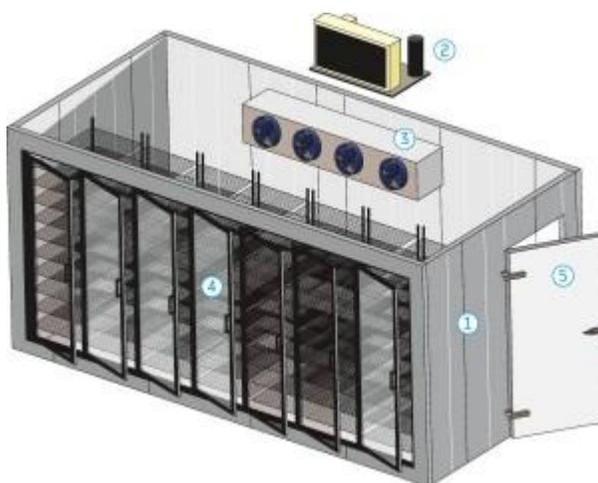
Actualmente los sistemas de mayor consumo de energía de acuerdo al giro de las empresas se vuelve relevante, para que se lleven a cabo medidas de ahorro de energía para reducir su factura eléctrica, y se vuelve importante las los dueños de negocio.

La tecnología avanza y permite tener sistemas o equipamiento de mayor eficiencia, que logra mantener las condiciones de operación pero con menos energía eléctrica.

A través de diagnósticos energéticos, se determina el uso de las herramientas y la selección de componentes idóneos para el desempeño eficiente de una cámara de refrigeración.

Para esto se presentan las partes principales de una cámara de refrigeración, así como un comparativo de consumo eléctrico de los equipos, para poder analizar diferentes alternativas y revisar qué opción es la que ofrece menor consumo eléctrico.

La función de la cámara de refrigeración es mantener los productos que se encuentren en ella a una temperatura adecuada, de modo que se conserven el mayor tiempo en buen estado y en condiciones óptimas para su venta. La temperatura a la que operan las cámaras de refrigeración en conservación, en situaciones normales, está entre 2 y 4 °C.



Las partes principales de una cámara son:

Descripción de la Tecnología Eficiente

1. Paneles aislados
2. Unidades condensadoras
3. Unidades de evaporación (evaporador/difusor)
4. Puertas de exhibición (reach-in) (lámparas T8 o LED)
5. Puertas de acceso (carga y servicio)

Para el desarrollo de este ejemplo se considera una cámara de refrigeración tipo reach-in de siete puertas con temperatura de conservación entre 2 y 4 °C. El equipo de refrigeración (unidad condensadora y evaporador) seleccionado para las dos opciones utiliza el mismo gas refrigerante y tienen una capacidad de refrigeración equivalente y para abatir una carga térmica determinada.

En el caso del panel aislado se debe seleccionar su espesor de acuerdo con la diferencia de temperatura exterior e interior, y su material de aislamiento.

Existen criterios de selección de panel aislado y puertas de acceso según la temperatura de la cámara de refrigeración, los cuales se deben tomar en cuenta.

Un aspecto importante por analizar en el diseño de los cuartos fríos es que se debe revisar el consumo eléctrico de los componentes que lo integran para seleccionar aquellos que incidan menos en el consumo.

A continuación se medirá el impacto de los componentes en el consumo total de la cámara de refrigeración tipo reach-in. Se usará como ejemplo una cámara de conservación de siete puertas. Los kWh considerados son anuales obtenidos de los fabricantes de los componentes.

Tabla 24. Impacto de consumo de energía con equipos ineficientes.

Impacto en el consumo total de energía		kWh / año	%
Iluminación	Siete puertas tipo reach-in de 24"x75" con resistencias e iluminación con lámparas T8	10,924	38.80%
Compresor	Una unidad condensadora de 3 HP con compresor recíprocante	14,026	49.80%
Evaporador	Un evaporador con motor tipo PSC (total 4 ventiladores)	3,189	11.30%
TOTAL		28,139	100%

Fuente: www.mundo HVACR

Tabla 25. Impacto de consumo de energía con equipos eficientes.

Impacto en el consumo total de energía		kWh / año	%
Iluminación	Siete puertas tipo reach-in de 24"x75" sin resistencias e iluminación con lámparas LED	4,660	24.30%
Compresor	Una unidad condensadora de 3 HP con compresor scroll	13,298	69.40%
Evaporador	Un evaporador con motor tipo ECM (total cuatro ventiladores)	1,191	6.20%
TOTAL		19,149	100%

Fuente: www.mundo HVACR

Con la aplicación de las mejoras tecnológicas para reducir el consumo, partiendo de instalar sistemas de iluminación tipo Leds, cambio de unidad condensadora tipo scroll o tornillo, además de un nueva evaporadora, lo que nos permite lograr un ahorro total del 32%, equivalente a 8,990 kWh/año, sin considerar aplicación de aislamiento térmico que conserve o mantenga mejor el sistema de enfriamiento.

Comparativo	kWh / año
Opción 1	28,139
Opción 2	19,149
Diferencia en consumo	-8,989
Ahorro %	-32%

Fuente: www.mundo HVACR

1.1.9 Instalación de Subestación para cambio de tarifa.

El transformador es un dispositivo eléctrico que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica de uno o más circuitos, a uno o más circuitos a la misma frecuencia, usualmente aumentado o disminuyendo los valores de tensión y corriente eléctricas.

Para este estudio definiremos los transformadores de distribución tipo poste o pedestal, porque son los equipo que se requiere para el cambio de tarifa de los usuarios; El transformador de distribución tipo poste, por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para sujetarse o instalarse en un poste o en alguna estructura similar, el tipo pedestal, es el conjunto formado por un transformador de distribución con un gabinete integrado en el cual se incluyen accesorios para conectarse en sistemas de distribución subterránea, este conjunto está destinado para instalarse en un pedestal y para servicio en intemperie. Los equipos señalados con anterioridad deben cumplir con la NOM-002-SEDE-1999.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Existen transformadores con líquido aislante son aquellos que utilizan el líquido aislante deben cumplir con no ser tóxico; ser Biodegradable y Adecuarse a la normativa mexicana relativa a los bifenilos policlorados (BPC).

Asimismo para garantizar la buena calidad de los transformadores y seguridad para los usuarios, cada transformador debe cumplir con las pruebas establecidas en la NMX-J-169-ANCE, que dice:

- Resistencia óhmica a los devanados.
- Resistencia de aislamiento (1 min)
- Rigidez dieléctrica del líquido aislante.
- Tensión aplicada.
- Tensión inducida.
- Relación de transformación, polaridad y secuencia de fases.
- Pérdidas de vacío y corriente de excitación
- Pérdidas debidas a las cargas e impedancia.
- Hermeticidad.

El tipo seco, como su nombre lo indican no contiene líquido aislante y presentan las siguientes ventajas, como:

- Transformador libre de mantenimiento: los transformadores tipo seco no requieren servicios o mantenimientos complicados para asegurar su funcionamiento tales como monitoreo de la vida útil del aceite, problemas por fugas, derrames, etc.
- Están fabricados con material para resistir altas temperaturas y ser auto extingible, reduciendo así a un mínimo los riesgos de incendio y propagación del mismo.
- La subestación en la que se emplean transformadores secos es más robusta y no requiere bóveda y fosa para la preservación del líquido aislante evitando así riesgos de contaminación e incendio.

En el transformador la potencia que entra no es igual a la que sale, esto es debido a las pérdidas que se generan, las cuales dependen de su diseño, tamaño y la cantidad de cobre que haya en sus bobinados. Si se mejora el diseño, los materiales y la manufactura de los transformadores la reducción de pérdidas de energía puede ser hasta un 33%, cabe mencionar que para ello es importante el uso de cobre en los componentes alrededor del núcleo de acero del transformador. Al incrementar el diámetro del conductor de cobre incrementa su eficiencia eléctrica (Procobre, 2010).

1.1.9.1 Parámetros Determinantes en la Evaluación y Rentabilidad de un Cambio de Tarifa 2 o 3 a Tarifa OM o HM

Dada la necesidad de incremento de carga en las instalaciones o de reducir el pago del recibo de energía dada por consumo de energía eléctrica, se pretende instalar una subestación capaz de soportar la carga, así como de la carga extra que a corto plazo se requiera, por lo que se necesita de manera de inicio conocer los siguientes parámetros para realizar la instalación de una subestación eléctrica.

1. Conocer la demanda máxima esperada
2. Conocer el factor de potencia mínimo esperado
3. Conocer la demanda máxima posible (carga instalada)
4. Dimensionar la capacidad del transformador en función de los parámetros anteriores.
 - a. Para fines prácticos y económicos (mayor viabilidad económica), la capacidad deseada del transformador se encuentra con la relación: **kVA** (capacidad del transformador en kVA) = **kW** (demanda máxima esperada) / **F.P.** (factor de potencia mínimo esperado).

Si la probabilidad de que en algún momento se llegue a requerir de la operación de toda la carga instalada es alta, y esta es mayor en un 20% o más que la capacidad encontrada con el criterio anterior, se encuentra conveniente que el transformador sea dimensionado en función de la demanda máxima posible (carga instalada), esto es: **KVA** (capacidad del transformador en kVA) = **kW** (demanda máxima posible o carga instalada) / **F.P.** (factor de potencia mínimo esperado).

Un sobredimensionamiento del transformador puede aumentar de manera importante el costo del proyecto por lo que la rentabilidad de este puede verse en riesgo.

Si el factor de carga que resulte de la relación Consumo-Demanda es muy bajo el proyecto de cambio de tarifa puede no ser rentable. A mayor factor de carga, mayores posibilidades de que el proyecto sea rentable.

Si el factor de potencia es menor al 90% la facturación llegará con penalizaciones (cargos económicos) como resultado de un factor de potencia bajo. Tanto menor es el factor de potencia F.P., mayor la penalización y el proyecto pierde rentabilidad hasta implicar incluso pérdidas en lugar de ahorros.

1.1.9.2 Análisis de Cambio de Tarifa

Primeramente se requiere hacer un historial de facturación y consumo eléctrico, el servicio de energía eléctrica es suministrado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) mediante la tarifa (2 ó 3) y que cuenta con un servicio censado por un medidor.

La propuesta de cambio de tarifa se realiza con el fin de reducir los montos en la facturación de energía eléctrica y al mismo tiempo estar preparados para el incremento de carga que a corto plazo se planea, por lo que se propone contar con una subestación eléctrica. Esto permitirá que la empresa se beneficie de los precios más económicos

Descripción de la Tecnología Eficiente

característicos de la tarifa (OM o HM) –respecto a las tarifas 2 y 3. Tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26. Precio medio de la energía eléctrica por tarifa, 2016.

Tarifas	Precio Medio 2016 (\$/kWh)
2	2.4145
3	2.1210
OM	1.5723
HM	1.1947

Fuente: Elaboración propia, con datos de CFE Marzo 2016

Como podemos observar el precio medio de la tarifa OM es un 35% menor en comparación con el precio medio de la tarifa 2 y un 26% menor en comparación con el precio medio de la tarifa 3, (cifras CFE, 2016).

Es importante señalar que para contratarse con la tarifa HM se requiere que la empresa tenga por lo menos un demanda de 100 kW.

1.1.9.3 Metodología para Calcular el Ahorro Económico por hacer un Cambio de tarifa

De acuerdo a la siguiente metodología se determina el ahorro económico que se puede obtener por el usuario al hacer una gestión ante la compañía suministradora de cambio de tarifa.

$$AE_{\$} = (PM_{BT} - PM_{MT}) * KWh/mes * 12$$

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

$A_{\$}$ = Estimación de ahorro económico por hacer cambio de tarifa \$/año

PM_{BT} = Precio Medio de la energía que tienen actualmente en baja tensión (tarifa 2,3) (\$/Kwh).

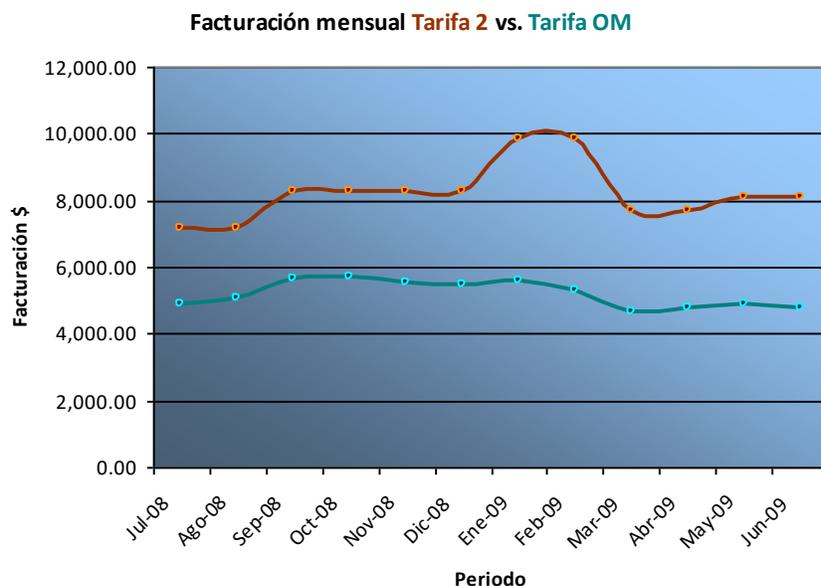
PM_{MT} = Precio Medio de la energía de media tensión (tarifa OM, HM) (\$/Kwh), a la pretende cambiar (se requiere instalar una subestación eléctrica).

KWh/mes = Consumo de energía actual del usuario baja tensión (KWh/mes)

12 = Meses del año

A continuación se muestra a manera de ejemplo una gráfica comparativa entre la facturación real de una empresa MIPYME que se encuentra contratada en tarifa 2 la facturación estimada si se contrata en tarifa OM.

Figura 13. Comparación de facturación de una empresa contratada tarifa 2 vs tarifa OM.



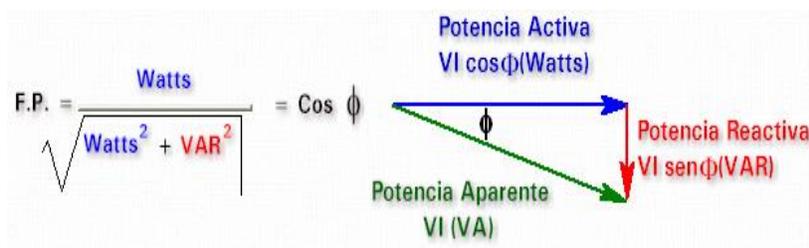
Fuente: Elaboración propia

1.1.10 Instalar banco de capacitores para corregir el factor de potencia.

En el consumo de electricidad por parte de un usuario están implicadas la potencia efectiva (kW), la potencia reactiva (kVAR) y la suma vectorial de estas dos denominada potencia aparente.

La potencia reactiva está asociada a cargas de tipo inductivo (motores) y a cargas capacitivas, mientras que la potencia efectiva es la que verdaderamente se convierte en trabajo. La potencia reactiva por tratarse de elementos inductivos y capacitivos (que idealmente no generan pérdidas) no se transforma en trabajo sino que es requerida por algunas cargas para el transporte de la potencia activa.

El factor de potencia es la relación entre potencia efectiva y potencia aparente. Las tres potencias pueden representarse a continuación .

Descripción de la Tecnología Eficiente


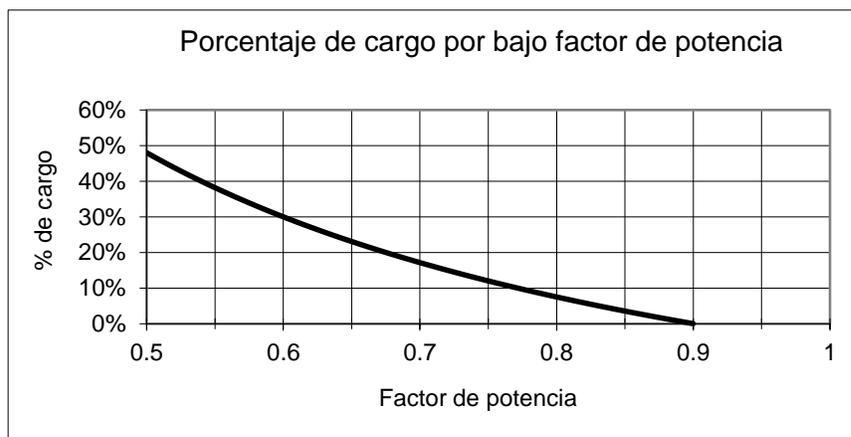
Por lo tanto, al tener un bajo factor de potencia inferior a los 90%, la compañía suministradora de energía eléctrica aplica una penalización por esta causa.

1.1.10.1 Metodología para Calcular bonificación por un FP > 90%

En México, de acuerdo a la tarifa y al Diario Oficial de la Federación del día 10 de noviembre de 1991, cuando el factor de potencia tenga un valor inferior a 0.9, el suministrador de energía eléctrica tendrá derecho a cobrar al usuario una penalización o cargo por la cantidad que resulte de aplicar al monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine según la siguiente fórmula:

Fórmula para calcular el penalización por bajo factor de potencia (FP<0.9) es.

$$\text{Penalización (\%)} = \frac{3}{5} \times \left[\frac{0.9}{FP} - 1 \right] \times 100$$

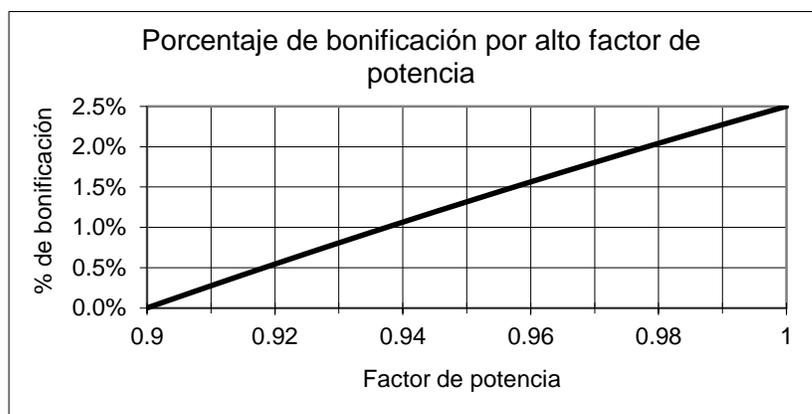


En ningún caso se aplicarán porcentajes de recargo superiores a 120%, ni porcentajes de bonificación superiores a 2.5%

En el caso de que el factor de potencia tenga un valor superior de 90% (noventa por ciento), el suministrador tendrá la obligación de bonificar al usuario la cantidad que resulte de aplicar a la factura el porcentaje de bonificación según la siguiente fórmula:

Fórmula para calcular la bonificación por alto factor de potencia (FP>0.9)

$$\text{Bonificación (\%)} = \frac{1}{4} \times \left[1 - \frac{0.9}{FP} \right] \times 100$$



Para determinar la capacidad KVAR necesaria para mejorar el FP, ya existen tablas para Compensación de Factor de Potencia (Factor Multiplicador de los kW), en lo que solo se busca en FP se encuentra y que factor requiere aplicar para corregir a un FP superior de 90%.

Tabla 27. Tabla Compensación escalamiento K .

		Factor de Potencia Deseado														
		FP ₂	0.98	0.96	0.95	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80			
Factor de Potencia	FP ₁															
	0.98	0.00														
	0.96	0.09	0.00													
	0.94	0.16	0.07	0.03	0.00											
	0.92	0.22	0.13	0.10	0.06	0.00										
	0.90	0.28	0.19	0.16	0.12	0.06	0.00									
	0.88	0.34	0.25	0.21	0.18	0.11	0.06	0.00								
	0.86	0.39	0.30	0.26	0.23	0.17	0.11	0.05	0.00							
	0.84	0.44	0.35	0.32	0.28	0.22	0.16	0.11	0.05	0.00						
	0.82	0.49	0.41	0.37	0.34	0.27	0.21	0.16	0.10	0.05	0.00					
	0.80	0.55	0.46	0.42	0.39	0.32	0.27	0.21	0.16	0.10	0.05	0.00				
	0.78	0.60	0.51	0.47	0.44	0.38	0.32	0.26	0.21	0.16	0.10	0.05	0.00			
	0.76	0.65	0.56	0.53	0.49	0.43	0.37	0.32	0.26	0.21	0.16	0.11	0.05			
	0.74	0.71	0.62	0.58	0.55	0.48	0.42	0.37	0.32	0.26	0.21	0.16	0.11	0.05		
	0.72	0.76	0.67	0.64	0.60	0.54	0.48	0.42	0.37	0.32	0.27	0.21	0.16	0.11	0.05	
	0.70	0.82	0.73	0.69	0.66	0.59	0.54	0.48	0.43	0.37	0.32	0.27	0.21	0.16	0.11	0.05
0.68	0.88	0.79	0.75	0.72	0.65	0.59	0.54	0.48	0.43	0.38	0.33	0.27	0.21	0.16	0.11	
0.66	0.94	0.85	0.81	0.78	0.71	0.65	0.60	0.54	0.49	0.44	0.39	0.33	0.27	0.21	0.16	
0.64	1.00	0.91	0.87	0.84	0.77	0.72	0.66	0.61	0.55	0.50	0.45	0.39	0.33	0.27	0.21	
0.62	1.06	0.97	0.94	0.90	0.84	0.78	0.73	0.67	0.62	0.57	0.52	0.46	0.40	0.34	0.28	
0.60	1.13	1.04	1.00	0.97	0.91	0.85	0.79	0.74	0.69	0.64	0.58	0.52	0.46	0.40	0.34	

Descripción de la Tecnología Eficiente

Determinar la capacidad del Banco de Capacitores

$$kVAR_C = kW_F (K)$$

Donde:

KVARc = Capacidad del banco de capacitores

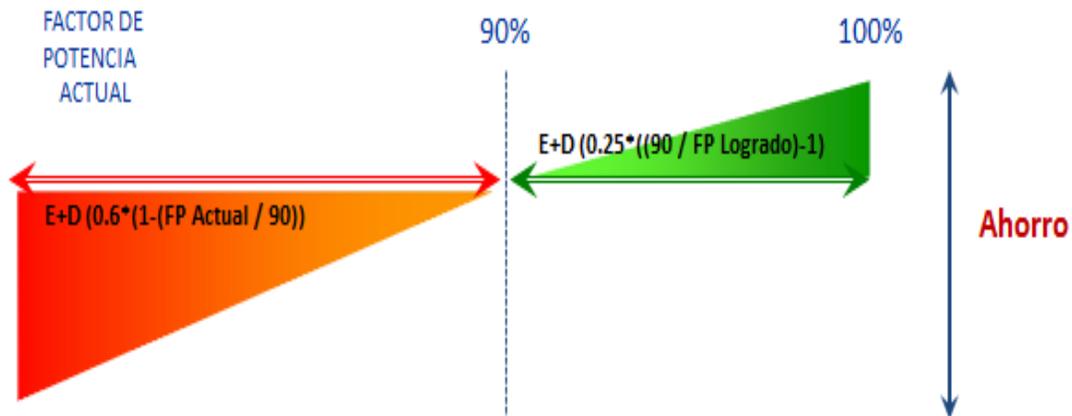
KW = Potencia actual del sistema KW

K= Constante de escalamiento K

Criterios de Selección de Bancos de Capacitores

- Bancos fijos: factor de potencia constante.
- Bancos automáticos: factor de potencia variable y valor máximo superior a 0.90.
- Bancos híbridos: factor de potencia variable y valor máximo inferior a 0.90.
- Bancos extra rápidos: factor de potencia con variaciones grandes en intervalos pequeños de tiempo.
- Bancos de un paso: factor de potencia constante y se requiere la conexión y desconexión del banco con la carga.

Figura 14. Ejemplo de beneficios por corrección del FP.



Fuente: Presentación CFE, ahorro de energía

2 Módulo IV Metodología para la Evaluación de las Medidas de Energías Renovables, Mediciones y Análisis

2.1 Procedimientos Particulares para la Evaluación de Medidas de Eficiencia Renovables

Para el aprovechamiento de la energía solar se utilizan dos tipos de tecnologías

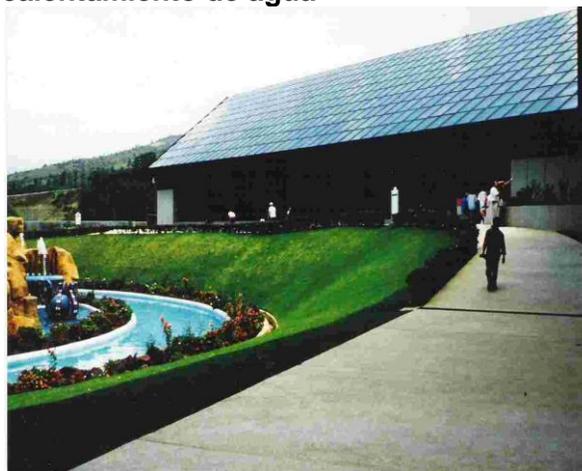
1. Fotovoltaicas

Convierten la energía solar (luminosa) en eléctrica. Ejemplos de aplicación (electrificación en domicilios, rural, bombeo y refrigeración)

2. Termo solares

Usan la energía del sol (radiación) para el calentamiento de fluidos. Ejemplo de aplicación (calentamiento de agua)

Ilustración 1⁹ Colectores solares para el calentamiento de agua



2.1.1 Sistema Fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos tienen la capacidad de convertir directamente la energía que nos llega del sol en forma de radiación en energía eléctrica. El elemento esencial de los generadores fotovoltaicos son las células solares construidas en base a semiconductores.

Este informe pretende establecer las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red. Pretende servir de guía para instaladores y fabricantes de equipos, por lo que se definen las especificaciones mínimas que debe cumplir una instalación para asegurar su calidad.

⁹ La figura de arriba corresponde al Club Pumas, que en sus instalaciones cuenta con módulos solares para el calentamiento de agua.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional¹⁰ son zonas con una insolación media del orden de los 5 kWh/m²-día.

Figura 15. Radiación Solar diaria promedio anual México.



2.1.1.1 Normatividad y Certificación de Sistemas Fotovoltaicos

Para el diseño de soporte de sistemas fotovoltaicos, y fijación de las mismas se deberán considerar y respetar los criterios y especificaciones que se indican.:

Los módulos solares fotovoltaicos que integren los Sistemas fotovoltaicos deben incluir, sin ser limitativo, las siguientes partes:

- Estar montados en estructuras soporte de aluminio
- Para la ubicación y la altura de la estructura, se debe considerar la superficie de la azotea, techo o espacio disponible.
- El número de módulos fotovoltaicos depende de la ingeniería y diseño definido en el proyecto.
- El ángulo de inclinación deberá ser igual a la latitud del lugar de instalación con un rango de $\pm 5^\circ$ y orientados hacia el sur geográfico, en el caso de que se instalen sobre azoteas inclinadas (inclinación mayor al 15%) se podrá tener una desviación en esta orientación de hasta 20°

Módulos Solares Fotovoltaicos

¹⁰ El potencial de energía solar de México es uno de los más altos a nivel mundial, SENER, Balance Nacional de Energía.

Los módulos solares fotovoltaicos que integren los Sistemas Fotovoltaicos deben ser del mismo modelo y capacidad potencia Watts pico. Asimismo deben de estar certificados de acuerdo con las normas: IEC 61215, IEC 61730 o UL 1703, UL 4703, NMX-J-618/1. Esta certificación debe ser realizada por alguna institución reconocida internacionalmente como Germanischer Lloyd, RISO, DEWI, DetNorske Veritas, TÜV Rheinland o similar.

El material de fabricación de las celdas que componen el módulo fotovoltaico, debe ser como mínimo silicio tipo policristalino. La eficiencia del módulo fotovoltaico debe ser como mínimo del 16% a STC. Los módulos deberán garantizar como mínimo 90% y 80% la potencia máxima por un periodo de 10 años y 25 años respectivamente.

Inversores de Frecuencia

Los inversores que integren un SFVI deben ser de tipo interconexión a la red, deberá contar con aprovechamiento de máximo punto de potencia (MPPT). Estos deben contar con la capacidad para interconectar un panel fotovoltaico para generar según la capacidad solicitada y, deben estar certificados bajo el estándar IEC 62109-1; NMX-J656/1-ANCE; IEC 62109-2; NMX-J-656/2-ANCE ó UL 1741. Es requerimiento que los inversores garanticen una vida útil mínima de 10 años. (Garantía del fabricante 10 años).

Finalmente los inversores deberán poder ajustar los rangos de operación con la red eléctrica (voltaje y frecuencia). Deberán contar con la función de Protección de Falla a Tierra integrada. Deberán estar diseñados para condiciones de temperatura ambiente de -40 a 65 grados Celsius.

Sistema de Tierras

El sistema de tierras del SFVI es responsabilidad del Proveedor de que cumpla con los valores de resistividad establecidos por norma para Sistemas Fotovoltaicos, así como los métodos de puesta a tierra.

Las estructuras de soporte, tableros, gabinetes, etc., deben de estar aterrizados en todos los puntos donde sea posible. Adicionalmente se deben efectuar conexiones firmes en la zona de módulos fotovoltaicos procurando hacerlo en puntos equidistantes.

Diseño o arreglo del sistema fotovoltaico

Cada módulo fotovoltaico debe generar energía eléctrica de CD y se debe conectar para formar arreglos y subarreglos, por medio de conductores eléctricos aislados. La conexión entre módulos fotovoltaicos debe ser mediante conectores tipo MC (tipo MC4) y en cumplimiento con la norma IEC 61730.

Los conectores y las cajas de conexiones de cada módulo deben ser clase de aislamiento tipo II, de acuerdo a lo establecido en la norma IEC 61730, debe contar con diodos de protección y debe estar fabricada para trabajar en intemperie. El voltaje máximo de

Descripción de la Tecnología Eficiente

operación de los arreglos de módulos debe ser de 600V CD. El módulo solar debe estar certificado bajo la norma IEC 61215 en su desempeño.

La cantidad de subarreglos va en función del diseño del desarrollador del proyecto. La entrega de la energía en CD podrá realizarse directamente desde los subarreglos o arreglos contemplando el uso de canalizaciones mediante tubo conduit Pared Delgada (PD). Asimismo se debe evitar en lo posible que existan áreas de sombra por un periodo prolongado entre paneles, considerando que los módulos solares fotovoltaicos deberán ser del tipo fijos, sin sistema de rastreo (tracking).

Medios de Conexión y Desconexión

Los Sistemas fotovoltaicos deben diseñarse para operar con el equipo de conexión y desconexión en condiciones normales de operación. Asimismo, la conexión y desconexión programada, deberá ser de manera automática bajo condiciones de falla de la red. Por lo que a la salida de baja tensión y punto de conexión hacia la carga, los Sistemas fotovoltaicos debe contar con un medio de conexión y desconexión a través de un interruptor termomagnético principal.

De acuerdo a la especificación de CFE G0100-04, para la Interconexión a la Red Eléctrica de Baja Tensión de Sistemas Fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW, se debe muestra a continuación:

Figura 16. Diagrama de Conexión Sistema FV a la Red..

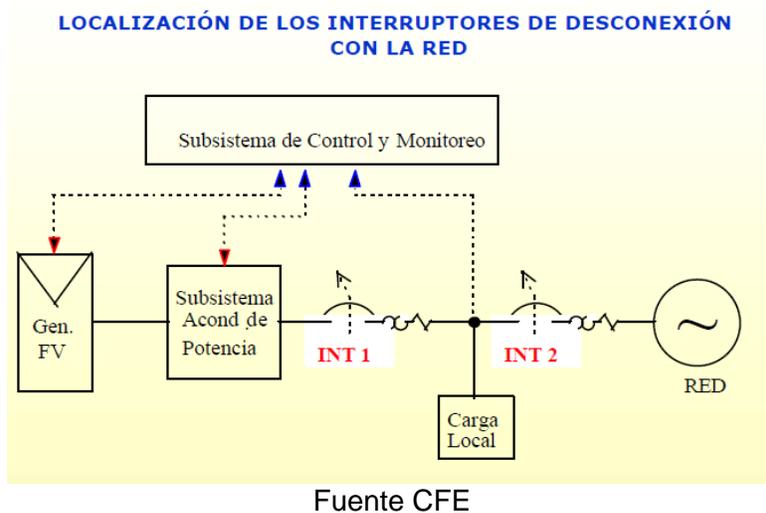


Figura 17. Diagrama de Conexión para Fuente de Energía Renovable en Mediana Escala hasta 500 kWp..

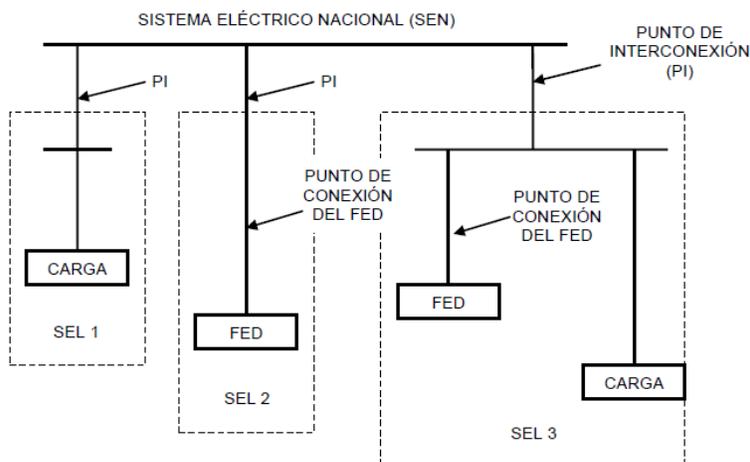


Diagrama de Interconexión; Fuente CFE

2.1.1.2 Metodología para Calcular la Generación de Energía Eléctrica fotovoltaica

La potencia instalada en corriente alterna, de un sistema fotovoltaica puede obtenerse utilizando procedimientos adecuados de corrección de las condiciones de operación bajo unos determinados valores de irradiancia solar y temperatura en diversas condiciones de operación diferentes.

La producción mensual máxima teórica estará en función de la irradiancia, la potencia instalada y el rendimiento de la instalación, por lo que requiere determinar los siguientes datos

- G_{dm} (0). Valor medio mensual y anual de la irradiancia diaria sobre superficie horizontal, en kWh/(m² Adía), el cual se puede obtener de algunas Agencias Estatales de Meteorología ejemplo la NASA.
- G_{dm} (α , β). Valor medio mensual y anual de la irradiancia diaria sobre el plano del generador en kWh/(m²-día), obtenido a partir del anterior, y en el que se hayan reducido las pérdidas por sombreado. El parámetro α representa el azimut y β la inclinación del generador.
- Rendimiento energético de la instalación o “performance ratio”, PR. Eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo, que tiene en cuenta:
 - La dependencia de la eficiencia con la temperatura.
 - La eficiencia del cableado.
 - Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad.
 - Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia.
 - La eficiencia energética del inversor.

Descripción de la Tecnología Eficiente

- Otros.

La estimación de la energía inyectada se realizará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) P_{mp} PR}{G_{cem}} \text{ KWh/Día}$$

Donde:

P_{mp} = Potencia pico del generador

G_{CEM} = 1 kW/m²

La orientación e inclinación del generador fotovoltaico y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla. cumplirse tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.

Tabla 28. Límites de pérdidas por orientación, inclinación y sombreado.

	Orientación e inclinación (OI)	Sombras (s)	Total (OI+S)
General	10%	10%	15%

Fuente: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red; IDEA, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía PCT-C-REV – julio 2011

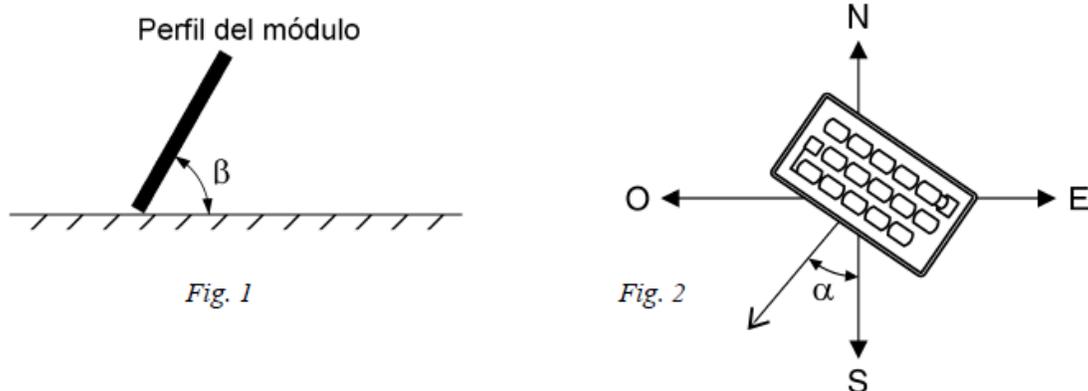
Las pérdidas que se consideran

- Pérdidas angulares o espectrales.
- Pérdidas por polvo o suciedad de los módulos.
- Potencia nominal de los paneles
- Conexiones
- Pérdidas por temperatura de los módulos.
- Pérdidas en el cableado CC y CA.
- Pérdidas por el inversor

- **Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación del sistema FV**

Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de: – Ángulo de inclinación β , definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal (figura 1). Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales. – Ángulo de azimut α , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar (figura 2). Su valor es 0° para módulos orientados al Sur, -90° para módulos orientados al Este y $+90^\circ$ para módulos orientados al Oeste.

Figura 18. Pérdidas por Angulo de inclinación β y por Angulo azimut α .



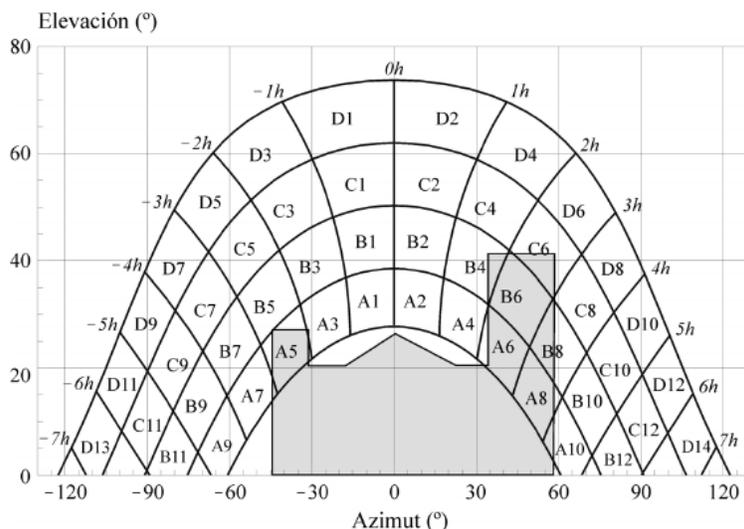
Fuente: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red; IDEA, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía PCT-C-REV – julio 2011

- **Cálculo de las pérdidas de radiación solar por sombras**

Se describe un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie de no existir sombra alguna.

Figura 19. Pérdidas por radiación solar por sombras..

Descripción de la Tecnología Eficiente



Fuente: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red; IDEA, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía PCT-C-REV – julio 2011

Ejemplo de Cálculos:

Pérdidas por sombreado (% de irradiación global incidente anual) =

$$= 0,25 \times B4 + 0,5 \times A5 + 0,75 \times A6 + B6 + 0,25 \times C6 + A8 + 0,5 \times B8 + 0,25 \times A10 =$$

$$0,25 \times 1,89 + 0,5 \times 1,84 + 0,75 \times 1,79 + 1,51 + 0,25 \times 1,65 + 0,98 + 0,5 \times 0,99 + 0,25 \times 0,11 = 6.16 \% =$$

Pérdidas por sombreado = **6%**

2.1.2 Sistema Energía Térmica

Un calentador solar de agua es un sistema que utiliza la energía térmica del sol para el calentamiento de agua sin usar ningún tipo de combustible fósil. Un sistema típico consta básicamente de tres componentes:

- colector solar: capta la energía solar y la transfiere al agua
- termotanque: almacena el agua caliente
- sistema de tuberías y válvulas: "transporta" el agua entre colector, termotanque y sistema sanitario mediante el efecto termosifón¹¹

¹¹ En un sistema termosifónico, el agua circula de manera natural y sin necesidad de una bomba entre el captador y el termotanque. Este efecto se debe a la diferencia de densidades (el agua caliente es más ligera que el agua fría y por eso tiende a subir) que, a su vez, son producto de la diferencia de las temperaturas del agua.

El colector solar tiene una superficie especial que capta el calor de los rayos solares y lo transfiere al agua que circula por su interior hasta al termotanque, donde se almacena para su disposición final.

El colector solar se instala en el techo o en un área bien soleada y se orienta de tal manera que logre la mayor captación de la radiación solar. Dependiendo de los requerimientos del usuario, un sistema de calentamiento de agua puede componerse de uno o más colectores solares interconectados.

2.1.2.1 Normatividad y Certificación del Colector Solar para Calentamiento de Agua

El 14 de octubre del 2005, entró en vigor la Norma Mexicana 12NMX-ES-001-NORMEX-2005, para determinar el Rendimiento Térmico y Funcionalidad de Colectores Solares para Calentamiento de Agua. Métodos de Prueba y Etiquetado.

La Norma Mexicana establece los métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico y las características de funcionalidad de los colectores solares que utilizan como fluido de trabajo agua, comercializados en los Estados Unidos Mexicanos. El colector solar al cual aplica esta Norma distingue a los siguientes cuatro tipos:

- **Colector solar metálico cubierto.**- El colector solar metálico cubierto consiste de un elemento que actúa como absorbedor, el cual generalmente está cubierto con un material que permite una máxima absorción de la energía solar. Éste se encuentra dentro de una caja que lo protege del ambiente, además de darle rigidez. Cuenta con un aislamiento térmico en la parte inferior y las caras laterales de la caja. La parte superior es una cubierta transparente que permite el paso de la radiación solar y evita las pérdidas de calor por convección del viento sobre el absorbedor.
- **Colector solar metálico descubierto.**- El colector solar metálico descubierto es un elemento fabricado de lámina metálica en el cual la superficie que absorbe la radiación solar es esencialmente la superficie del colector solar.
- **Colector solar de plástico cubierto.**- El colector solar de plástico descubierto es un elemento fabricado de plástico en el cual la superficie que absorbe la radiación solar es esencialmente la superficie del colector solar.
- **Colector solar de plástico descubierto.** - El colector solar de plástico cubierto es un elemento con absorbedor de plástico y cubierta transparente.

El rendimiento de un colector solar operando bajo condiciones de estado estables puede

¹² Fuente: CONUEE; NMX-ES-001-NORMEX-2005

Descripción de la Tecnología Eficiente

ser descrito con la siguiente ecuación: este cociente está invertido

$$\eta g = \frac{\text{EnergíaSolarIncidenteSobreElcolector}}{\text{EnergíaEntregadaPorElcolector}}$$

El 24 de Julio de 2008, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-ES-003-NORMEX-2008, Energía solar–Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos, para calentamiento de agua.

Esta Norma Mexicana se extiende a todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos, electrónicos y demás que forman parte de las instalaciones de sistemas termosolares de más de 500 litros, para sistemas menores de 500 litros se aplica lo establecido en el apéndice normativo I, y es complementario a los reglamentos municipales, estatales y federales de las materias aplicables en cada caso.

2.1.2.2 Metodología de Cálculo Energía Solar Térmica

Para determinar el dimensionamiento de la capacidad de energía solar térmica, se sugiere el método de las curvas \mathcal{F} (F Chart), que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, por la aportación de calor necesaria para cubrir la carga térmica y del rendimiento en un periodo de tiempo.

Se utilizarán datos mensuales diarios meteorológicos y es válido para determinar el factor de cobertura solar para instalaciones de calentamiento en todo tipo de edificios.

La ecuación utilizada en este método puede apreciarse la siguiente fórmula.

$$\mathcal{F} = 1.029 D_1 - 0.065 D_2 - 0.245 D_1^2 + 0.0018 D_2^2 + 0.0215 D_1^2$$

Las cargas caloríficas determina la cantidad de calor, necesaria para calentar el agua destinada al consumo.

$$Q_a = C_e C N (t_{ac} \cdot t_r)$$

Donde.

Q_a = Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes)

C_e = Calor específico para agua: 4187 J / kg °C

C = Consumo diario de A.C.S (l / día)

t_{ac} = Temperatura de agua caliente acumulada (°C)

t_r = Temperatura de agua de la red (°C)

N = Número de días al mes.

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador y

la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D_1 = \text{Energía absorbida por el captador / carga calorífica mensual}$$

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$Ea = Sc Fr (\tau \alpha) R1 N$$

Donde.

Sc = Superficie del captador (m²)

R1 = Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ / m²)

N = Número de día del mes

Fr (τ α) = factor adimensional (factor de eficiencia del captador: Angulo de incidencia 0.96 factor de corrección del conjunto captador- intercambiador 0.95)

El parámetro D₂ expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \text{Energía pérdida por el captador / carga calorífica mensual}$$

La energía pérdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$Ep = Sc Fr UL(100 - ta)\Delta t K1 K2$$

Sc = Superficie del captador (m²)

Fr U_L = Pendiente de la curva característica del captador (Coeficiente global de pérdidas del captador)

ta = temperatura media mensual del ambiente

Δt = Periodo de temepo considerado en segundos (s)

K₁ = Factor de corrección por almacenamiento que se obtienen a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = [\text{kg acumulación} / 75 Sc]^{-0.25}$$

$$37.5 < (\text{kg acumulación}) / (\text{m}^2 \text{ Captador}) < 300$$

K₂ = Factor de corrección para A.C.S , que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de la red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = 11.6 + 1.18 t_{ac} + 3.86 t_T - 2.32 t_a / (100 - t_a)$$

Donde.

t_{ac} = Temperatura mínima del A.C.S

Descripción de la Tecnología Eficiente

t_r = Temperatura de agua de la red

t_a = temperatura media mensual del ambiente

Una vez obtenido D_1 y D_2 , aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

De esta forma, la energía útil captada cada mes, Q_u , tiene el valor:

$$Q_u = \int Q_a$$

Donde.

Q_a = Carga Calorífica mensual de A.C.S.

Mediante igual proceso Operativo para el cálculo de un mes, se operara para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$\text{Cobertura anual solar} = \frac{\sum_{u=1}^{u=12} Q_u \text{ necesaria}}{\sum_{a=1}^{a=12} Q_a \text{ necesaria}}$$

3 Módulo V Metodología para la Evaluación de las Medidas de Eficiencia Energética en los Sistemas Térmicos, Mediciones y Análisis

El calor es ampliamente utilizado tanto en el sector industrial, como en el de servicios, ya sea en la cocción de alimentos, calentamiento de productos o de agua, secado, reacciones químicas, evaporización, entre otros usos. A los equipos que producen calor, lo transportan y lo aprovechan se les conoce como Sistemas Térmicos.

Uno de los medios de transmisión de calor más usado es el vapor de agua, esto debido a la facilidad en su producción (generación) transporte y manejo, por lo que también es usado en la generación de energía eléctrica. Existen otros medios de transmisión de calor como son los aceites, los cuales son usados en procesos muy específicos.

En el caso del vapor de agua, a pesar de que éste empezó a ser usado desde finales del siglo XVIII, al día de hoy su operación en algunas instalaciones no se realiza de manera eficiente, lo que se traduce en un mayor consumo de combustible y, por lo tanto, en mayores costos a la empresas. Un sistema de vapor comprende tres secciones:

- 1) Sistema de Generación de Vapor
- 2) Sistema de Distribución y Retorno de Condensados.
- 3) Sistema Cogeneración

Para cada uno de estos sistemas se han identificado medidas de eficiencia energética, las cuales se presentan divididas en cada uno de los sistemas antes descritos.

También el presente módulo contempla otras medidas de eficiencia energética, como es la recuperación de calor residual (que comúnmente es arrojado a la atmósfera) para ser utilizado en la generación de energía eléctrica u otros usos específicos, por lo que se presenta un capítulo dedicado a la cogeneración.

3.1 Sistema de Generación de Vapor

En esta sección se indican los procedimientos para realizar la evaluación de las medidas de eficiencia energética en un Sistema de Generación de Vapor, así también se indica que normas del ámbito nacional deben de cumplirse para la correcta implementación de las medidas.

Descripción de la Tecnología Eficiente

3.1.1 Alcances

Las medidas de eficiencia energética en la presente sección únicamente abarcará la sustitución tecnológica parcial (retrofit) o total de la tecnología que se encuentre instaladas y operando al momento de la ejecución del Diagnóstico Energético. Para tal efecto se indicará los procedimientos necesarios para realizar la evaluación de las siguientes medidas:

- a. Sustitución de Caldera
- b. Instalación de Aislamiento térmico en tuberías de conducción de vapor, fluidos térmicos y retorno de condensados
- c. Instalación de aislamiento térmico de tanques y recipientes calientes
- d. Instalación de un Sistema de Retorno de Condensados
- e. Sistemas de Cogeneración
- f. Otras medidas de eficiencia energética que se aplican a los Sistemas de Generación de Vapor.

3.1.2 Sustitución de Caldera¹³**Marco Técnico de Referencia**

Una caldera es un equipo donde se transmite el calor de los gases de combustión hacia el agua que contiene en su interior para producir vapor. Existen diversas clasificaciones de generadores de vapor de acuerdo a sus diferentes características. En términos generales, el sistema de generación de vapor es muy utilizado en la industria y en el sector de servicios (hoteles, hospitales, lavanderías y tintorerías, entre otros).

La sustitución de caldera vieja e ineficiente por una nueva y que opere en mayor eficiencia, además de traer el beneficio energético, proporciona a la empresa una operación más segura. El promedio de recuperación simple de la inversión de un cambio de caldera está entre los 3.5 a los 5 años, dependiendo de la tecnología que se aplique.

La presente medida toma en consideración que la caldera utiliza el mismo tipo de combustible y un solo combustible, por lo que si hubiera una combinación del mismo, no se podría aplicar de manera total esta medida, así como tampoco contempla una caldera que utiliza combustible fósil y se cambia a una caldera que aprovecharía biomasa.

¹³ Fuentes: Steam, its generation and use, 40^a edición, Babcock & Wilcox. Código ASME (American Society of Mechanical Engineers); Manual de SELMEC, México. Metodología de Diagnósticos Energéticos. CONAE 1998; Diagnósticos Energéticos en Sistemas de Vapor, IDAE España

Situación Actual

Levantamiento general de la Información¹⁴ y descripción de las condiciones de operación y mantenimiento.

Los datos con los que se deberá contar son los que a continuación se enlistan:

- Levantamiento de datos de la caldera o calderas en las instalaciones, donde se indiquen, tipo de caldera, marca, modelo, capacidad, presión y temperatura de generación de vapor, año de manufactura, tipo de combustible.
- Determinar las condiciones de operación de la caldera, donde se deberá definir:
 - ✓ Características del vapor generado, presión y temperatura.
 - ✓ Tipo de combustible utilizado y características fisicoquímicas del mismo (poder calorífico, densidad, etc).
 - ✓ Condiciones de ingreso del combustible a la caldera y volumen ingresado a la caldera por hora, por día y anual (temperatura, presión, humedad, etc).
 - ✓ Tipo de quemador usado.
 - ✓ Temperatura del agua de alimentación y cantidad ingresada por hora.
 - ✓ Análisis de los gases de combustión (composición) y temperatura de los mismos.
 - ✓ Temperatura y condiciones físicas del envoltorio de la caldera.
 - ✓ Horas de operación de la(s) caldera(s), esto es, horas de operación por cada día laboral, por fin de semana, días laborales por año y días no laborables por año. Además del régimen de carga con la que operan, para ello se puede ver las bitácoras.
- Determinar la demanda de vapor que requiera la instalación, por hora, por día y anual.
- Tipo de control de operación de la caldera.

Toma de mediciones térmicas y de emisiones de gases de combustión.

Las principales mediciones serán:

- Temperatura del agua de alimentación y cantidad ingresada por hora.
- Características del vapor generado, presión y temperatura.
- Condiciones de ingreso del combustible a la caldera y volumen ingresado a la caldera por hora, por día y anual (temperatura, presión, humedad, etc).
- Temperatura del agua de alimentación y cantidad ingresada por hora.
- Análisis de los gases de combustión (composición) y temperatura de los mismos.
- Temperatura y condiciones físicas del envoltorio de la caldera y condiciones físicas del envoltorio de la caldera
- Eléctricas puntuales de los motores eléctricos que impulsan las bombas y ventilador.

NOTA: Los equipos que se sugiere utilizar para las mediciones en campo serán:

- Analizador de gases de combustión.

¹⁴ Ver anexo IV.1.

Descripción de la Tecnología Eficiente

- Termómetro laser.
- Cámara termo gráfica.
- Medidor de flujo, de preferencia un caudalímetro no invasivo.
- Analizador de redes o amperímetro de gancho.

Análisis de las mediciones y cálculos para determinar el perfil de operación

Las actividades que se deben desarrollar son las siguientes:

- Estimar los porcentajes de operación de cadera en la que trabajan en un día típico (fuego bajo, medio o alto) y de carga.
- Estimar la eficiencia media pesada de generación de vapor.
- Estimar el costo de generación de vapor promedio por hora.
- Hacer la gráfica demanda de vapor vs tiempo para identificar los picos de demanda y los mínimos de demanda de vapor.
- Estimar de la demanda de vapor del sistema¹⁵ y por área, por hora, por día y anual.
- Realizar una tabla donde se haga un balance de energía y demanda de vapor por hora, por día y anual.
- Realizar un diagrama de Sankey para definir la distribución de la energía en la caldera.

Adicional a estas acciones se tienen que estimar los siguientes parámetros para establecer el perfil de la generación de vapor:

Demanda y Consumo de Vapor y de Energía

- Estime la demanda de vapor horario, por día, promedio mensual y anual.
- Con base en la eficiencia media pesada, determine el consumo de combustible y energía por día, promedio mensual y anual.

Determinación del Costo Operativo

Esto se refiere a la suma de todos los costos involucrados en la operación de las calderas, el cual se estima como:

$$CO = \sum \text{costos} = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Donde CO es el Costo Operativo de los equipos

La suma de los costos que se debe de considerar:

- Costo de combustible.
- Costo del agua de reposición.
- De los equipos auxiliares:
 - ✓ Costo por demanda de energía.
 - ✓ Costo por consumo de energía.

¹⁵ Considere las fugas de vapor y otras pérdidas de energía, tanto en las líneas de distribución de vapor como en los usuarios, por lo que la demanda deberá ser sin tomar estas pérdidas de vapor.

- Costos por mantenimiento:
 - ✓ Costo de tratamiento de agua interna y externa.
 - ✓ Costo de desincrustantes.
 - ✓ Costo de mantenimiento general.
 - ✓ Costo de afinación.
- Costo por verificación de la caldera.

Índice específico de consumo de energía

Este indicador se refiere a las condiciones generales de operación para determinar el índice específico de energía de la caldera. Esto se expresa en la siguiente ecuación:

$$ICEgv = \frac{\text{volumen de producción o servicio}}{\text{Generación de vapor}} = \left[\frac{\text{ton de producción}}{\text{ton de vapor}} \right]$$

Donde **ICEgv** es el índice de Consumo Energético de la generación de vapor.

Tecnología Propuesta.

Una vez definida la tecnología propuesta, la evaluación considera los siguientes puntos:

Consumo de Energía Estimados

- Con la demanda promedio de vapor por hora y tomando en consideración la nueva eficiencia de la caldera estime el consumo de combustible de la nueva caldera.
- Con base en el nuevo consumo de combustible, estime el consumo de energía por día, promedio mensual y anual.

Estimación del Nuevo Costo Operativo

Estos se refieren a la suma de todos los costos involucrados en la operación de los equipos generadores de vapor (calderas), el cual se estima como:

$$NCO = \sum \text{costos} = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Donde NCO es el Nuevo Costo Operativo de los equipos

La suma de los costos que se debe de considerar:

- Costo por la demanda de vapor estimada.
- Costos por mantenimiento.

Índice específico de consumo de energía

Este indicador se refiere a las condiciones de operación de la nueva caldera, donde se determinar el índice específico estimado de energía de la caldera. Esto se expresa en la siguiente ecuación:

$$ICEgve = \frac{\text{volumen de producción o servicio}}{\text{Generación de vapor}} = \left[\frac{\text{ton de producción}}{\text{ton de vapor}} \right]$$

Descripción de la Tecnología Eficiente

Donde **ICEgve** es el índice de Consumo Energético de la generación de vapor estimado.

Estimación de Beneficios**Estimación de la Reducción del Consumo de Energía Estimados**

La reducción en el consumo de la energía se determinará como:

$$RCE = CEA - CEP = \left[\frac{MJ}{\text{año}} \right]$$

Donde RCE es la reducción en el consumo de la energía

CEA es el consumo de energía actual

CEP es el consumo de la energía propuesta

Actividad 2) Estimación de la Reducción del Consumo de Combustible Estimados

La reducción en el consumo del combustible se determinará como:

$$RCComb = CCombA - CCombP = \left[\frac{l}{\text{año}} \right]$$

Donde RCComb es la reducción en el consumo del combustible

CCombA es el consumo de combustible actual

CEP es el consumo de combustible propuesto

Actividad 3) Estimación del Ahorro Económico

La estimación del ahorro económico (AE) es la diferencia el costo operativo anual (COA) menos el nuevo costo operativo anual (NCO), siendo:

$$AE = COA - NCO = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Actividad 4) Determinación de la Reducción del Indicador Energético

La reducción en el indicador del Consumo Energético ICEgvr se obtendrá de la diferencia entre el indicador con la caldera actual (ICEgv) menos el indicador de la caldera propuesta (ICEgve).

$$ICEgvr = ICEgv - ICEgve = \left[\frac{\text{ton de producción o servicio}}{\text{ton de vapor}} \right]$$

Donde:

ICEgvr es la reducción en el indicador energético.

Herramientas de Soporte y cumplimiento de normatividades

Existen herramientas para el cálculo que ayuda a simplificar el proceso de cálculo y obtener mejores resultados, entre ellos puede ser:

- Performance Test Codes: A.S.M.E. PTC 4 – 2008, Fired Steam Generators.
- Steam Generation Equipment Scorecard. Hoja de registro “checklist” que ayuda a caracterizar las condiciones y oportunidades de ahorro de energía en el equipo de generación de vapor.

Las normas que deben de cumplirse con la implementación de la presente medida son las enunciadas en la normatividad para el sistema térmico.

3.2 Sistemas de Distribución y Retorno de Condensados

3.2.1 Instalación de Aislamiento térmico en tuberías de conducción de vapor, fluidos térmicos y retorno de condensados

Evaluación de la Situación Actual

Levantamiento de la Información¹⁶ y descripción de las condiciones de operación y mantenimiento.

- Obtener el layout de la instalación y de las tuberías que conducen vapor o un fluido térmico.
- Establecer una nomenclatura o código de identificación a cada línea de vapor, de acuerdo al layout.
- Con base en el identificación de las líneas se debe obtener:
 - ✓ Diámetro de la línea y longitud por tipo de tubería (conducción de vapor, fluido térmico o retorno de condensados).
 - ✓ Temperatura de la superficie de la tubería.
 - ✓ Ubicación de la tubería (exterior o interior de la planta).
 - ✓ Presión del vapor conducido.
 - ✓ Condiciones del aislamiento.
 - ✓ Tiempo de operación de cada uno de los tanques, por día, promedio mensual y anual.

Toma de mediciones

- Temperatura de superficie de las tuberías, así como la identificación de la presión del vapor que transportan.
- Diámetro de tuberías.
- Longitud de tuberías.

Los equipos que se utilizarán para las mediciones en campo serán:

- Termómetro laser o termómetro de contacto.
- Distanciómetro

NOTA: Los equipos que se sugiere utilizar para las mediciones en campo serán:

- Distanciómetro.
- Termómetro laser.
- Cámara termográfica.

Descripción de la Tecnología Eficiente

- Medidor de flujo, de preferencia un caudalímetro no invasivo.

Análisis de las mediciones y cálculos para determinar el perfil de operación.

A continuación se presentan los cálculos que se tienen que desarrollar para establecer el perfil de operación de las tuberías y los cuales son:

Estimación de las pérdidas de calor en la tubería sin aislante, (PEsa)

Con base en la metodología indicada en la norma NOM-009-ENER-1995 Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales se determinan las perdidas, siendo los cálculos:

1. Cálculo del diámetro aislado, da (m)
2. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada desde la superficie aislada hacia el ambiente, hc (W/m²K)
3. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación, hr(W/m²K)
4. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, hs (W/m²K)
5. Cálculo del flux o pérdidas de calor, q (W/m)
6. Pérdidas totales anuales por falta de aislamiento.

Con base en los calculos se resumen los resultados de las pérdidas totales por falta de aislamiento para todas las tuberías en la siguiente tabla:

Tabla 29. **Pérdidas Totales por Falta de Aislamiento**

Díámetro de la tubería, in (mm)	Metros sin aislamiento	Pérdida de calor (q), kcal/hm	Pérdida de calor total, kcal/h	Pérdida de calor total, kcal/año
Totales				

Consumo de Combustible

El consumo de combustible que se tiene por aplicar esta medida es de:

$$\text{Reducción del Consumo Combustible} = \frac{\text{Pérdida de Energía}}{PC * \eta_{\text{media pesada}}} = \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right] = \left[\frac{\text{litros}}{\text{año}} \right]$$

Donde:

PC Poder Calorífico del Combustible¹⁷.

$\eta_{\text{media pesada}}$ es la eficiencia media pesada de la caldera o de la generacion de vapor

Determinación del Costo Operativo

¹⁷ El valor del Poder Calorífico del combustible utilizado, véalo en el Anexo IV.2.

Esto se refiere a la suma de todos los costos involucrados en la operación de las líneas de vapor y/o transporte de producto de alta temperatura, el cual se estima como:

$$CO = \sum \text{costos} = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Donde CO es el Costo Operativo de los equipos.

La suma de los costos que se debe de considerar:

- Costo por pérdida de energía, Cpe
- Costos por mantenimiento del aislamiento, si es existente.

El costo ocasionado por las pérdidas de energía se estima como:

$$Cpe = (\text{Costo de la Energía por año})(PEsa) = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Índice específico de consumo de energía

Este índice se calculará de acuerdo con las condiciones de operación para determinar el índice específico de energía del transporte de vapor y/o de producto de alta temperatura. Esto se expresa en la siguiente ecuación:

$$ICEtv = \frac{\text{energía consumida por pérdidas}}{\text{Ton de vapor transportada por hora}} = \left[\frac{MJ}{\text{Ton Vapor por hora}} \right]$$

Donde **ICEtv** es el índice Energético del Sistema de Transporte de Vapor.

Situación Propuesta

A continuación se presentan los cálculos que se tienen que desarrollar para establecer el perfil de operación de las tuberías y los cuales son:

Estimación de las pérdidas de calor en la tubería, una vez que se instala aislamiento térmico, PEca

Los cálculos que se realizaran para obtener las pérdidas de calor en las tuberías con aislamiento térmico, utilizando la NOM-009-ENER-1995 Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales, son los siguientes:

Recomendación: Se considera inicialmente una $t_{sup} = t_a + 10^\circ\text{C}$.

- a) Se calcula q
- b) Se obtiene una tsc (Temperatura de superficie calculada)
- c) Se obtiene la diferencia de temperaturas ($t_{sup} - t_{sc}$)

Si $(t_{sup} - t_{sc}) < 0.0000001$, entonces se obtiene q y se termina de iterar

Si $(t_{sup} - t_{sc}) > 0.0000001$, entonces $t_{sup} = t_{sc}$ y se vuelven a llevar a cabo los pasos a) al c)

Posteriormente se efectúan las siguientes operaciones:

Descripción de la Tecnología Eficiente

1. Cálculo del diámetro aislado, d_a (m)
2. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural y forzada desde la superficie aislada hacia el ambiente, h_c ($W/m^2 K$)
3. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación, h_r ($W/m^2 K$)
4. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, h_s ($W/m^2 K$)
5. Cálculo del flux o pérdidas de calor, q (W/m)
6. Pérdidas totales anuales por falta de aislamiento
7. Cálculo de la temperatura calculada supuesta, t_{sc} (K)
8. Pérdidas totales anuales con aislamiento = 0.9733×106 kcal/año (dato calculado con la $t_{sc_{final}}$)

A continuación se presentan los resultados de las pérdidas totales con aislamiento para todas las tuberías:

Tabla 30. **Pérdidas Totales con Aislamiento**

Diámetro de la tubería, in (mm)	Metros sin aislamiento	Pérdida de calor (q), kcal/hm	Pérdida de calor total, kcal/h	Pérdida de calor total, kcal/año
Totales				

Reducción en el Consumo de Combustible

La reducción en el consumo de combustible que se tiene por aplicar esta medida es de:

$$\text{Reducción del Consumo Combustible} = \frac{\text{Energía perdida con el aislamiento}}{PC * \eta_{media\ pesada}} = \left[\frac{m^3}{año} \right] = \left[\frac{litros}{año} \right]$$

Donde:

PC Poder Calorífico del Combustible¹⁸.

$\eta_{media\ pesada}$ es la eficiencia media pesada de la caldera o de la generación de vapor

Estimación del Nuevo Costo Operativo

Esto se refiere a la suma de todos los costos involucrados en la operación de las líneas de vapor y/o transporte de producto de alta temperatura con el aislamiento ya instalado, el cual se estima como:

$$NCO = \sum \text{costos} = \left[\frac{\$}{año} \right]$$

Donde NCO es el Nuevo Costo Operativo

La suma de los costos que se debe de considerar:

- Costo por pérdida de energía, C_{pee}
- Costos por mantenimiento del aislamiento, valor aproximado.

El costo ocasionado por las pérdidas de energía se estima como:

¹⁸ El valor del Poder Calorífico del combustible utilizado, véalo en el anexo IV.2.

$$C_{pee} = (\text{Costo de la Energía por año})(PE_{ca}) = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Índice específico de consumo de energía

Con la estimación de la reducción de las pérdidas de energía, el índice específico de energía del transporte de vapor y/o de producto de alta temperatura se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$ICE_{tv} = \frac{\text{energía consumida por pérdidas}}{\text{Ton de vapor transportada por hora}} = \left[\frac{MJ}{\text{Ton Vapor por hora}} \right]$$

Donde **ICE_{tve}** es el índice Energético del Sistema de Transporte de Vapor estimado

Estimación de la Reducción en el Consumo de Energía y Combustible Reducción en el Consumo de Energía

El ahorro de energía que se obtiene por aplicar esta medida es de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro de energía} = PE_{SA} - PE_{CA} = \left[\frac{MJ}{\text{año}} \right]$$

Donde:

PE_{SA} Pérdidas de Energía Sin Aislamiento

PE_{CA} Pérdidas de Energía Con Aislamiento

Reducción en el Consumo de Combustible

El ahorro de combustible que se obtiene por aplicar esta medida es de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro de combustible} = C_{combSA} - C_{combCA} = \left[\frac{MJ}{\text{año}} \right]$$

Donde:

C_{combSA} Consumo de combustible Sin Aislamiento

C_{combCA} Consumo de combustible Sin Aislamiento

Estimación del Ahorro Económico

La estimación del ahorro económico (AE) es la diferencia el costo operativo anual (COA) menos el nuevo costo operativo anual (NCO), siendo:

$$AE = COA - NCO = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Determinación de la Reducción del Indicador Energético

La reducción en el indicador del Consumo Energético de la transporte de vapor o de la tubería con alta temperatura es el ICE_{tv}, el cual se obtendrá de la diferencia entre el indicador con la tubería sin aislar (ICE_{tv}) menos el indicador de la tubería aislada (ICE_{tve}).

Descripción de la Tecnología Eficiente

$$ICE_{tvr} = ICE_{tv} - ICE_{tve} = \left[\frac{MJ}{\text{ton de vapor por hora}} \right]$$

Donde:

ICE_{tvr} es la reducción en el indicador energético de la tubería que transporta vapor o un fluido térmico.

Herramientas de Soporte y cumplimiento de normatividades

Existen herramientas para el cálculo de las pérdidas de energía que ayudan a simplificar el proceso de cálculo, entre ellos se encuentra:

- 3E Plus. Calcula el espesor de aislamiento térmico más conveniente económicamente. Fuente: <http://www.pipeinsulation.org/>.

3.2.2 Instalación de un Sistema de Retorno de Condensados¹⁹

Levantamiento de la Información y descripción de las condiciones de operación y mantenimiento.

- Obtener el layout de la instalación donde se ubiquen tanto la línea de distribución de vapor como los usuarios.
- Establecer una nomenclatura o código de identificación en cada punto donde se estime debe de haber recuperación de condensado en las líneas distribuidoras de vapor y en los usuarios de vapor.
- Tiempo de operación de cada línea de transmisión de vapor y de cada uno de los tanques o equipos de proceso usuarios del vapor, por día, promedio mensual y anual.
- Costo de la energía.
- Costo de tratamiento de agua (externo e interno de la caldera).
- Costo del agua cruda.
- Costo del combustible.
- Costo de la energía.
- Volumen de vapor transportado por línea o presión de vapor en la línea de transporte.
- Consumo de vapor y requerimiento energético por hora de cada usuario.

Toma de mediciones

Para la toma de las mediciones se utilizarán los formatos del anexo IV.2, mismas que serán principalmente:

- Temperatura y presión del vapor en su aplicación y en las líneas de transporte.
- Temperatura y volumen del condensado generado²⁰ en los puntos a evaluar de los consumidores de vapor si es posible medir.
- Diámetro y longitud de tuberías.

¹⁹ Fuente: Steam, its generation and use, 40^a edition, Babcock & Wilcox; “Manual técnico, diseño y cálculo de redes de vapor” Junta de Castilla y León, España. “The steam and condensate loop” Spirax Sarco, USA.

²⁰ En los usuarios, a la salida de vapor existen línea con una trampa de vapor donde el condensado en ciertas ocasiones es tirado al drenaje. Se puede cuantificar el volumen del condesando captándolo en este punto en lugar de tirarlo, con eso se podría conocer el volumen del condensado producido en un determinado tiempo.

NOTA: Los equipos que se utilizarán para las mediciones en campo serán:

- Caudalímetro no invasivo.
- Termómetro laser o termómetro de contacto.
- Distanciómetro.

Análisis de las mediciones y cálculos para determinar el perfil de operación.

Estimación de condensado en líneas de transporte

a) Calcule de la carga de condensados que se forman en las líneas de distribución de vapor, para el efecto se podrá utilizar la siguiente expresión matemática²¹:

$$m = \frac{A_t * (T_p - T_a) * U * f_a}{\Delta h_{vap}}$$

Dónde:

m es la cantidad de condensado que se forma en las líneas de transporte de vapor, [kg/h]

A_t es el área externa del tubo, [m²].

T_p es la temperatura externa del tubo, [°C].

T_a = Temperatura ambiente, [°C].

A_{h_{vap}} es la entalpía o calor latente de vaporización, [kJ/kg].

F_a es el factor de aislamiento, If = 1, si se tiene una eficiencia de aislamiento del 0%

U es el coeficiente de transferencia de calor, para el material de acero.

NOTA: la estimación de la cantidad de condensado debe ser en cada línea de acuerdo a la presión de vapor que transporta la línea. Puede utilizar la siguiente tabla.

Tabla 31. Entalpía de vaporización de las líneas

Presión, [bar]	Diámetro, [mm]	Long. equiv., [m]	h _{vapor} , [kJ/kg]	h _{líquido} , [kJ/kg]	Δh _{vap} , [kJ/kg]

b) Determine el condensado total que se forma de todas las líneas de transporte y distribución de vapor, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

²¹ Industrial Steam Trapping Handbook, Yawar Corporation

Descripción de la Tecnología Eficiente

Tabla 32 Carga de Condensados en Líneas de Vapor

Línea de Vapor	Presión [bar]	Diámetro, [mm]	Long. equiv. [m]	Carga de condensados, [kg/h]
Total				$m_t = \sum_{i=1}^{m_n} m_i$

Donde:
mt es la masa total del condensado de las líneas de vapor.

c) Estime los condensados que se generan en los usuarios y en la línea de distribución del vapor, esto es, el calor que requieren por cada tipo de proceso. Para el efecto y con el regimen de operación de cada equipo usuario de vapor, así como las necesidades específicas del equipo, determine la producción de condensados por tipo de equipo y de la línea de distribución de vapor.

Tabla 33 Carga de Condensados de Usuarios de Vapor

Equipo usuario de vapor	Presión [bar]	Tiempo de operación, [h/día]	Tiempo de operación, [días /año]	Carga de condensados, [kg/h]
Total				$m_t = \sum_{i=1}^{m_n} m_i$

d) Sume la carga total de los condensados, tanto de las líneas de vapor como los de los equipos usuarios del mismo. El calculo es por hora, por día, promedio mensual y total anual.

e) Estime el consumo de energía de la carga total de los condensados, por hora, por día, promedio mensual y anual.

Determinación del Costo Operativo

Costo del condensado

Estime primero el calor que se le incrementa al agua en la situación actual, esto es:

$$Q_{aa} = \frac{m_{ac} * C_{p_{agua}} * (T_{vaporización} - T_{ac})}{\eta_{media\ pesada}}$$

Donde:

Q_{aa} es el calor sensible que se le suministra al agua de la alimentación de la caldera, [kJ/h]

m_{ac} es la cantidad de agua de reposición que se le suministra a la caldera, [kg/h]

$C_{p_{agua}}$, es el calor específico del agua.

$T_{vaporización}$, es la temperatura de vaporización del agua a la presión de la caldera, [°C]

T_{ac} es la temperatura del agua que se le suministra a la caldera, [°C]

El costo del suministro de energía al agua de alimentación es:

$$C_{sa} = Q_{aa} * C_e$$

Donde:

C_{sa} es el costo de la energía suministrada al agua de alimentación.

Q_{aa} es el calor sensible que se le suministra al agua de la alimentación de la caldera, [kJ/h]

C_e es el costo de la energía²², [\$/kJ]

El costo total del condensado se calcula de la siguiente forma:

$$C_c = C_{sa} + C_{ta} + C_a$$

Dónde:

C_c costo de los condensados, [\$/h], [\$/mensual_{promedio}], [\$/año]

C_{sa} Costo de la energía, [\$/h], [\$/mensual_{promedio}], [\$/año]

C_{ta} Costo del tratamiento del agua, tanto el tratamiento externo como el interno de la caldera, [\$/h], [\$/mensual_{promedio}], [\$/año]

C_a es el costo del agua, [\$/h], [\$/mensual_{promedio}], [\$/año]

Impacto Ambiental, Emisiones Anuales de CO₂

La estimación de las emisiones de CO₂ se obtendrá del producto de la energía anual consumida por el factor de emisiones²³.

Índice específico de consumo de energía

Este índice se calculará de acuerdo con las condiciones de operación para determinar el índice específico de energía del condensado que actualmente se recupera. Esto se expresa en la siguiente ecuación:

$$ICEco = \frac{\text{energía consumida}}{\text{Recuperación de condensado}} = \left[\frac{MJ}{m^3 \text{ de condensado por hora}} \right]$$

Donde **ICEco** es el índice Energético de la recuperación de condensados.

Nota: El índice anterior se calcula cuando se recupera algo de condensado, si no hay ninguna recuperación, el indicador será cero.

²² En el anexo II.1 se muestra las directrices para su estimación

²³ El factor de emisiones que se utilizará en las estimaciones es el utilizado por la SEMARNAT en el cuarto comunicado, el cual se presenta en el anexo VI.6.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Situación Propuesta

Recuperar el condensado que se esté tirando al drenaje al momento de realizar la visita técnica a las instalaciones. Para evitar esta mala práctica operativa se debe de instalar: tuberías, accesorios, bombas de retorno de condensado, tanques de almacenamiento, instrumentación etc. Por lo que se recomienda hacer un listado de los elementos que compondrán el sistema de retorno de condensados.

Evaluación de la Situación Propuesta

A continuación se presentan los cálculos que se tienen que desarrollar para establecer el perfil de operación de la caldera con la recuperación de los condensados.

Consumo de Energía y Combustible Estimados

Estime el ahorro de combustible, ya que al recuperar el condensado, la temperatura del agua de alimentación se incrementa, en este sentido, determine:

- a) La entalpía del agua de alimentación a la temperatura estimada y presión que ingresaría a la caldera (Q_{aarc}).
- b) Estime la energía aprovechada por el vapor, con el volumen de generación del vapor por la diferencias de las entalpías (del vapor y la del agua de alimentación).
- c) Calcule el nuevo consumo de energía, manteniendo la eficiencia de la caldera y con el poder calorífico del combustible que utilice la caldera.
- d) Estime el nuevo volumen de agua de reposición, descontando el agua de retorno de condensado.
- e) Estime el nuevo consumo de químicos usados en el tratamiento interno y externo con base en la recuperación del condensado.

Determinación del Costo Operativo

El nuevo costo del suministro de energía al agua de alimentación es:

$$C_{sarc} = Q_{aarc} * C_e$$

Donde:

C_{sarc} es el costo de la energía suministrada al agua de alimentación con recuperación de condensado.

Q_{aarc} es el calor sensible que se le suministra al agua de la alimentación de la caldera con la recuperación del condensado, [kJ/h]

C_e es el costo de la energía²⁴, [\$/kJ]

El costo total del condensado se calcula de la siguiente forma:

$$C_c = C_{sa} + C_{ta} + C_a$$

Dónde:

C_c costo de los condensados, [\$/h], [\$/mensual_{promedio}], [\$/año]

C_{sa} Costo de la energía, [\$/h], [\$/mensual_{promedio}], [\$/año]

C_{ta} Costo del tratamiento del agua, tanto el tratamiento externo como el interno de la caldera, evaluando con un menor volumen de agua a tratar, [\$/h], [\$/mensual_{promedio}], [\$/año]

²⁴ En el anexo II.1 se muestra las directrices para su estimación.

Ca es el costo del agua, evaluando con un menor volumen de agua a reponer [\$/h], [\$/mensual_{promedio}], [\$/año]

Índice específico de consumo de energía

Este índice se calculará de acuerdo con las condiciones de operación para determinar el índice específico de energía del condensado que actualmente se recupera. Esto se expresa en la siguiente ecuación:

$$CEcor = \frac{\text{energía consumida}}{\text{Recuperación de condensado}} = \left[\frac{MJ}{m^3 \text{ de condensado por hora}} \right]$$

Donde **ICEcor** es el índice Energético de condensados recuperados.

Estimación de los Beneficios

Reducción en el Consumo de Energía

El ahorro de energía que se obtiene por aplicar esta medida es de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro de energía} = Q_{aa} - Q_{aac} = \left[\frac{MJ}{\text{año}} \right]$$

Donde:

Q_{aa} Energía (calor sensible) que se le suministra al agua de alimentación de la caldera sin condensados.

Q_{aac} Energía (calor sensible) que se le suministra al agua de alimentación de la caldera con la recuperación de los condensados.

Reducción en el Consumo de Combustible

La reducción en el consumo de combustible que se tiene por aplicar esta medida es de:

$$\text{Reducción del Consumo Combustible} = \frac{\text{Ahorro de Energía}}{PC * \eta_{\text{media pesada}}} = \left[\frac{m^3}{\text{año}} \right] = \left[\frac{\text{litros}}{\text{año}} \right]$$

Donde:

PC Poder Calorífico del Combustible²⁵.

$\eta_{\text{media pesada}}$ es la eficiencia media pesada de la caldera o de la generación de vapor

Estimación del Ahorro Económico

La estimación del ahorro económico (AE) es la diferencia el costo operativo anual (COA) menos el nuevo costo operativo anual (NCO), siendo:

$$AE = COA - NCO = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Determinación de la Reducción del Indicador Energético

²⁵ El valor del Poder Calorífico del combustible utilizado, véalo en el Anexo II.1.

Descripción de la Tecnología Eficiente

La reducción en el indicador del Consumo Energético estimado del condensado ICEcoe se obtendrá de la diferencia entre el indicador con la recuperación del condensado final (ICEcor) menos el indicador del condensado que se recupera inicialmente (ICEco).

$$ICEcoe = ICEcor - ICEco = \left[\frac{MJ}{m^3} \right]$$

Donde:

ICEcoe es la reducción en el indicador energético de la recuperación del condensado.

Herramientas de Soporte y cumplimiento de normatividades

Existen herramientas para el cálculo de diseño de líneas de vapor y retorno de condensados que ayudan a simplificar el proceso de cálculo, entre ellos se encuentran:

- Metodología de Spirax Sarco, esta se encuentra en su página web: <http://www.spiraxsarco.com/mx/resources/calculators/pipes.asp>

Las normas que deben de cumplirse con la implementación de la presente medida son las enunciadas en la normatividad para el sistema térmico.

3.3 Sistemas de Cogeneración

Situación Actual

Levantamiento de la Información y descripción de las condiciones de operación y mantenimiento.

Censo de equipos instalados

Levantamiento del censo de cargas conectadas, tanto eléctricas como térmicas, dará como resultado la capacidad total de cada tipo de energético, afectando los valores totales de las cargas conectadas por el factor de utilización de la empresa. Dichas cargas deberán agruparse por tipo de servicio y condiciones de operación, por ejemplo:

ELÉCTRICAS:

- Iluminación;
- Fuerza, motores;
- Etc.

TÉRMICAS.

- Calderas de vapor;
- Calentadores a fuego directo de fluido térmico.;
- Hornos;
- Secadores;
- Motores de combustión interna.

De ambos sistemas se deben obtener las horas de operación de los equipos por tipo y por área, esto es, horas de operación por cada día laboral, por fin de semana, días laborales por año y días no laborables por año.

Condiciones de la demanda y consumo de energía eléctrica

Tipo de tarifa de energía eléctrica contratada y la facturación de la energía eléctrica de al menos un año.

Condiciones del sitio de instalación

Es de suma importancia verificar las condiciones de las instalaciones, ya que en caso de que no cumplan con los elementos mínimos de seguridad no se podrá instalar el sistema de cogeneración, para esto a continuación se da un listado que se deberá verificar:

- La acometida de la energía eléctrica y del tablero principal de distribución, si está en una correcta operación.
- Otros puntos de seguridad de la parte térmica y eléctrica.
- La disponibilidad del espacio adecuado para maniobras en la instalación del sistema de cogeneración.

Toma de mediciones eléctricas, térmicas y de emisiones de gases de combustión.

Las principales mediciones eléctricas serán continuas para determinar el perfil de demanda de al menos una semana típica de la empresa.

NOTA: Los equipos que se sugiere utilizar para las mediciones en campo serán:

- Analizador de redes.

Las principales mediciones térmicas serán:

- Características del vapor generado, presión y temperatura .
- Condiciones de ingreso del combustible a la caldera y volumen ingresado a la caldera por hora, por día y anual (temperatura, presión, humedad, etc).
- Análisis de los gases de combustión (composición).
- Temperatura y flujo de los gases de combustión
- Temperatura y condiciones físicas del envolvente de la caldera y condiciones físicas del envolvente de la caldera.

NOTA: Los equipos que se sugiere utilizar para las mediciones en campo serán:

- Analizador de gases de combustión.
- Termómetro laser.
- Cámara termográfica.
- Medidor de flujo, de preferencia un caudalímetro no invasivo.

Análisis de las mediciones y cálculos para determinar el perfil de operación

Las actividades que se tienen que desarrollar son las siguientes:

Perfiles de Demanda y Consumo de Energía Eléctrica y Térmica

Los datos procesados y concentrados se graficarán contra los periodos de facturación (o los definidos por facilidad de contabilidad del consumo), con el objeto de visualizarlos en relación al tiempo y de qué manera se puede ver afectado este consumo por las

Descripción de la Tecnología Eficiente

estaciones del año o las variaciones de producción de la empresa en cuestión. Los perfiles que resultan útiles son los siguientes:

A) Sistemas Eléctricos

- Hacer las gráficas de las mediciones eléctricas.
- Describir el comportamiento del perfil de demanda mediante las gráficas obtenidas a partir de las mediciones continuas.
 - ✓ Demanda eléctrica promedio.
 - ✓ Demanda eléctrica máxima.
- Estimación de la demanda del sistema y el consumo de energía total y por área.

B) Consumo de combustibles

- Consumo de combustibles, por tipo.
- Consumo de combustibles, en unidades energéticas.

C) Sistemas de vapor

- Estimar los porcentajes de operación de cadera en la que trabajan en un día típico (fuego bajo, medio o alto) y de carga.
- Estimar la eficiencia media pesada de generación de vapor.
- Estimar el costo de generación de vapor promedio por hora.
- Hacer la gráfica demanda de vapor vs. tiempo para identificar los picos de demanda y los mínimos de demanda de vapor.
- Estimar la demanda de vapor del sistema²⁶ por área; así como por hora, por día, por mes (promedio mensual) y por año.
- Estimar flujos de gases de combustión.
- Calcular entalpía de gases de combustión.
- Estimar la energía que contienen los gases de combustión.
- Realizar una tabla donde se haga un balance de energía y demanda de vapor por hora, por día y anual.

D) Otros sistemas térmicos

- Estimar los porcentajes de operación de otros equipos térmicos: calentadores, hornos o secadores que trabajan en un día típico.
- Flujo de gases de combustión.
- Entalpía de gases de combustión.
- Estimar la energía que contienen los gases de combustión.
- Estimar la eficiencia de los equipos.
- Estimar el costo de operación promedio por hora.
- Estimación de la demanda de energía y de combustible sistema térmico y por área, por hora, por día y anual.
- Realizar una tabla donde se haga un balance de energía por hora, por día y anual.

²⁶ Considere las fugas de vapor y otras pérdidas de energía, tanto en las líneas de distribución de vapor como en los usuarios, por lo que la demanda deberá ser sin tomar estas pérdidas de vapor.

Adicional a estas acciones se tienen que estimar los siguientes parámetros para establecer el perfil de los equipos de consumidores de energía (eléctrica y térmica), donde se considere:

- Realizar un Diagrama de Sankey para definir la distribución de la energía en los sistemas eléctricos y térmicos.
- Analizar la producción de otras corrientes energéticas.
- Establecer la simultaneidad con las que se suceden las cargas eléctricas y térmicas de la empresa.

Determinación del Costo Operativo

Esto se refiere a la suma de todos los costos involucrados en la operación de los equipos evaluados, el cual se estima como:

$$CO = \sum \text{costos} = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Donde CO es el Costo Operativo de los equipos de la planta que se está analizando, debe de tomar en cuenta:

Los costos eléctricos que se debe de considera

- Costo por demanda de energía.
- Costo por consumo de energía.
- Costos por mantenimiento.

Los costos térmicos que se debe de considerar:

- Costo de combustible.
- Costo del agua de reposición.
- De los equipos auxiliares:
 - Costo por demanda de energía.
 - Costo por consumo de energía.
- Costos por mantenimiento:
 - Costo de tratamiento de agua interna y externa.
 - Costo de desincrustantes.
 - Costo de mantenimiento general.
 - Costo de afinación.

Índice específico de consumo de energía

Al momento de la situación actual debe de haber una contabilidad energética o establecer un parámetro Este índice se calculará de acuerdo con las condiciones de operación para determinar el índice específico de energía que la CFE brinda para cubrir el consumo de los equipos de la empresa. Esto se expresa en la siguiente ecuación:

$$ICE_e = \frac{\text{energía eléctrica consumida}}{\text{producción o servicio prestado, etc}} = \left[\frac{kWh}{\text{ventas}} \right] = \left[\frac{kWh}{\text{toneladas}_{\text{producción}}} \right]$$

Donde **ICE_e** es el índice de Consumo Energético de Electricidad.

Descripción de la Tecnología Eficiente

Situación Propuesta/Tecnología Propuesta.

La tecnología propuesta es aquella que aprovechara la energía residual de la empresa, ya sea en forma de calor o de combustible para generar energía eléctrica.

- **Determine la relación calor/electricidad (Q/E)**, esta será definida por las demandas máximas, térmica y eléctrica.
- **Seleccione el esquemas de cogeneración**, con base en el Q/E se deberá seleccionar el esquema de cogeneración, tomando en consideración el comportamiento de las demandas energéticas²⁷. De esta manera se generan las alternativas que deban analizarse técnicamente (como primer paso).

Evaluación de la Nueva Tecnología/Demanda y Consumo de Energía Estimados.

Con base en el perfil de operación de la empresa, es factible seleccionar aquellos esquemas de cogeneración que resulten aplicables atendiendo a sus características de operación.

Lado Eléctrico

- Cargas eléctricas conectadas.
- Determine la demanda mensual máxima.
- Estime el consumo de energía anual mediante el producto de la demanda estimada por el tiempo de operación anual.

Lado Térmico

- Capacidad térmica instalada.
- Demanda térmica promedio mensual máxima.

Estimación del Nuevo Costo Operativo

Estos se refieren a la suma de todos los costos involucrados en la operación de los equipos de cogeneración, el cual se estima como:

$$NCO = \sum \text{costos} = \left[\frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Donde NCO es el Nuevo Costo Operativo de los equipos. La suma de los costos que se debe de considerar:

- Costo por uso de combustible (en caso de haber cambiado).
- Costos por mantenimiento.

Índice específico de energía

Índice de calor (Net Heat Rate NHR)

El índice de calor indica la relación entre el combustible utilizado que se puede atribuir a la energía eléctrica producida y la producción de electricidad de las instalaciones.

²⁷ Tomando en cuenta la disponibilidad de combustibles (externos o subproductos) o calor aprovechable.

$$NHR = \frac{\text{Combustible Utilizado}}{\text{producción de electricidad}} = \left[\frac{MJ}{kWh} \right]$$

Cuanto más bajo es el valor de este índice, más eficiente ha sido la utilización del combustible para la generación de energía eléctrica.

Estimación de Beneficios

Los beneficios que se obtendrán al momento de implementar la nueva tecnología serán de reducción en la demanda, reducción en el consumo de energía, ahorro económico y disminución de los impactos ambientales, por lo que se deberá realizar:

Estimación de la Reducción de la Demanda y en el Consumo de Energía Estimados

La reducción de la demanda se determinará como:

$$RD = DA - DP = [kW]$$

Donde RD es la reducción de la demanda

DA es la demanda actual

DP es la demanda de la energía propuesta

La reducción en el consumo de la energía se determinará como:

$$RCE = CEA - CEP = \left[\frac{kWh}{año} \right]$$

Donde RCE es la reducción en el consumo de la energía

CEA es el consumo de energía actual

CEP es el consumo de la energía propuesta

Estimación del Ahorro Económico

La estimación del ahorro económico (AE) es la diferencia el costo operativo anual (COA) menos el nuevo costo operativo anual (NCO), siendo:

$$AE = COA - NCO = \left[\frac{\$}{año} \right]$$

Bibliografía

Alex Ramírez Rivero; Genertek; Prospectivas de potencial de ahorro de energía eléctrica en el sector comercial, edificios y sector público, 2009; Prospectiva de potencial de ahorro de energía eléctrica en sistemas de aire acondicionado. 2009.

Catálogos de productos compresores de aire; Ingersoll rand, Atlas Copco, Kaeser; Acceso por internet, 2010.

Catálogos de productos iluminación; Osram, SLI, Philips, Sola Basic, Acceso por internet, 2010.

Catálogos de productos motores eléctricos; Motores US, Suministros Electromecánicos y Representaciones Técnicas SA de CV, 2010.

CDM- PDD, Factory energy efficiency improvement in compressed air demand in Mexico, 2007; CDM-AMS II C Demand side energy efficiency activities for specific technologies v 13; CDM-AMS II J Demand-side activities for efficient lighting technologies v 3.

CDM- POA; design document; CFL lighting scheme – “Bachat Lamp Yojana.

CONUUE; Guía de Ahorro de energía en Motores Eléctricos; Acceso internet, 2010.

CONUUE; Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-2015 Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozos profundos en operación. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

CONUUE; Norma Oficial Mexicana NOM-011-ENER-2006 y, la NORMA Oficial Mexicana NOM-011-ENER/SCFI/ECOL-2000, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

CONUUE; Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2010, la NORMA Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2002 y la NORMA Oficial Mexicana NOM-016-ENER-1997, Eficiencia energética para motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, métodos de prueba y marcado.

CONUUE; NORMA Oficial Mexicana NOM-017-ENER/SCFI-2008, Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba.

CONUUE; Norma Oficial Mexicana NOM-021-ENER/SCFI-2008 y, la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000, Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

CONUUE; Norma Oficial Mexicana NOM-022-ENER/SCFI-2008 y, la NORMA Oficial Mexicana NOM-022-ENER/SCFI/ECOL-2000, Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

CONUUE; Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2010, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

Estadística de ventas CFE,
<http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/QCFE/EstVtas/Default.aspx>, Acceso, agosto 2010.

FIDE-Procobre; Ventajas y recomendaciones en el uso de motores eléctricos con Sello FIDE. Noviembre 2008.

FIDE; Especificaciones Sello FIDE; ESP4401 Motores trifásicos de Inducción; ESP4402 Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastadas; ESP4404 Balastos para Lámparas Fluorescentes T8; ESP4408 Lámparas Fluorescentes Lineales T8; ESP4413 Acondicionadores de Aire Tipo Cuarto; ESP4416 Acondicionadores de Aire Tipo Central Paquete o Dividido; ESP4419 Lámparas Fluorescentes Lineales T5; ESP4421 Acondicionadores de Aire Tipo Minisplit o Multisplit; ESP4431 Balastos para Lámparas Fluorescentes Lineales T5.

IDEA, Instalación de Energía Solar Fotovoltaica, Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red; PCT-C –REV – Julio 2011.

IDEA, Instalación de Energía Solar Térmica, Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura; PET –REV – Octubre 2012.

PA Consulting; Evaluación y monitoreo del programa de incentivos, 2004.

Procobre; Ventajas del Cobre Sobre Otros Materiales Conductores en Transformadores, 2010.